

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## PCT

### NOTICE INFORMING THE APPLICANT OF THE COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL APPLICATION TO THE DESIGNATED OFFICES

(PCT Rule 47.1(c), first sentence)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

TAZAWA, Hiroaki  
7F, Daito Bldg.  
7-1, Kasumigaseki 3-chome  
Chiyoda-ku, Tokyo 100-0013  
JAPON

Date of mailing (day/month/year) <b>08 November 2001 (08.11.01)</b>		<b>IMPORTANT NOTICE</b>	
Applicant's or agent's file reference <b>523431B</b>			
International application No. <b>PCT/JP00/06922</b>	International filing date (day/month/year) <b>04 October 2000 (04.10.00)</b>	Priority date (day/month/year) <b>27 April 2000 (27.04.00)</b>	
Applicant <b>mitsubishi denki kabushiki kaisha et al</b>			

1. Notice is hereby given that the International Bureau has **communicated**, as provided in Article 20, the international application to the following designated Offices on the date indicated above as the date of mailing of this notice:  
**KR,US**

In accordance with Rule 47.1(c), third sentence, those Offices will accept the present notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

2. The following designated Offices have waived the requirement for such a communication at this time:  
**CN,EP,JP**

The communication will be made to those Offices only upon their request. Furthermore, those Offices do not require the applicant to furnish a copy of the international application (Rule 49.1(a-bis)).

3. Enclosed with this notice is a copy of the international application as published by the International Bureau on  
**08 November 2001 (08.11.01) under No. WO 01/84719**

#### REMINDER REGARDING CHAPTER II (Article 31(2)(a) and Rule 54.2)

If the applicant wishes to postpone entry into the national phase until 30 months (or later in some Offices) from the priority date, a demand for international preliminary examination must be filed with the competent International Preliminary Examining Authority before the expiration of 19 months from the priority date.

It is the applicant's sole responsibility to monitor the 19-month time limit.

Note that only an applicant who is a national or resident of a PCT Contracting State which is bound by Chapter II has the right to file a demand for international preliminary examination (at present, all PCT Contracting States are bound by Chapter II).

#### REMINDER REGARDING ENTRY INTO THE NATIONAL PHASE (Article 22 or 39(1))

If the applicant wishes to proceed with the international application in the national phase, he must, within 20 months or 30 months, or later in some Offices, perform the acts referred to therein before each designated or elected Office.

For further important information on the time limits and acts to be performed for entering the national phase, see the Annex to Form PCT/IB/301 (Notification of Receipt of Record Copy) and the PCT Applicant's Guide, Volume II.

<p style="text-align: center;">The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland</p> <p>Facsimile No. (41-22) 740.14.35</p>	<p>Authorized officer</p> <p style="text-align: center;"><b>J. Zahra</b></p> <p>Telephone No. (41-22) 338.91.11</p>
---	---

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

E P



P C T

## 国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
〔PCT18条、PCT規則43、44〕

出願人又は代理人 書類記号 523431B	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。		
国際出願番号 PCT/JP00/06922	国際出願日 (日.月.年) 04.10.00	優先日 (日.月.年) 27.04.00	
出願人(氏名又は名称) 三菱電機株式会社			

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 2 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

## 1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 7 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl<sup>7</sup> H 03 M 13/01

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl<sup>7</sup> H 03 M 13/00-53

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996
日本国公開実用新案公報	1971-2000
日本国登録実用新案公報	1994-2000
日本国実用新案登録公報	1996-2000

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEEE/IEE Electronic Library online

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P, 59-165153, A (岡野博一) 18. 9月. 1984 (18. 09. 84) 全文, 1-6図 (ファミリーなし)	4-6, 16-18, 19-24, 26
A	全文, 1-6図 (ファミリーなし)	1-3, 7-11, 12-15, 25
A	J P, 58-219647, A (東京芝浦電気株式会社) 21. 12月. 1983 (21. 12. 83) 全文, 1-10図 (ファミリーなし)	1-26

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 12. 00

国際調査報告の発送日

16.01.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号 100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

西脇 博志

印

5 K

8832

電話番号 03-3581-1101 内線 6868

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2001 年 11 月 8 日 (08.11.2001)

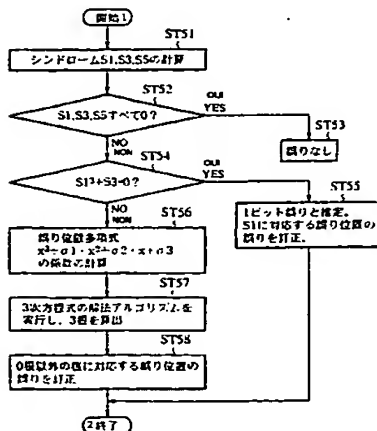
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 01/84719 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H03M 13/01 [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP00/06922
- (22) 国際出願日: 2000 年 10 月 4 日 (04.10.2000)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2000-128286 2000 年 4 月 27 日 (27.04.2000) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 藤田 八郎 (FUJITA, Hachiro) [JP/JP]. 吉田 英夫 (YOSHIDA, Hideo)
- (74) 代理人: 田澤 博昭, 外 (TAZAWA, Hiroaki et al.); 〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目7番1号 大東ビル7階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: ERROR CORRECTION METHOD, ERROR CORRECTION DEVICE AND RECORDING MEDIUM IN WHICH ERROR CORRECTION PROGRAM IS RECORDED

(54) 発明の名称: 誤り訂正方法、誤り訂正装置及び誤り訂正プログラムが記録された記録媒体



ST51...CALCULATION OF SYNDROMES S1, S2 AND S5  
ST52...ALL OF S1, S2 AND S5 ZERO?  
ST53...NO ERROR  
ST55...ESTIMATED TO BE 1-BIT ERROR. ERROR IN ERROR POSITION  
CORRESPONDING TO S1 IS CORRECTED  
ST56...CALCULATION OF COEFFICIENTS OF ERROR POSITION  
POLYNOMIAL  $X^2 + \alpha X + \beta$   
ST57...SOLUTION ALGORITHM OF THIRD-ORDER EQUATION IS EXECUTED  
TO CALCULATE 3 ROOTS  
ST58...ERRORS IN ERROR POSITIONS CORRESPONDING TO ROOTS OTHER  
THAN 0 ARE CORRECTED  
1: ...START  
2: ...END

(57) Abstract: A polynomial generation step in which, if the number of error bits estimated by an error bit count estimation step is 2-bit error or 3-bit error, a third-order error position polynomial is generated in accordance with the syndrome is provided. A normalized third-order equation is obtained from the third-order error position polynomial and the roots of the normalized third-order equation are calculated. The roots of the third-order error position polynomial are calculated from the roots of the normalized cubic

equation.

[続葉有]

WO 01/84719 A1



---

(57) 要約:

誤りビット数推定ステップにより推定された誤りビット数が2ビット誤り又は3ビット誤りである場合、そのシンドロームから3次の誤り位置多項式を生成する多項式生成ステップを設け、その3次の誤り位置多項式から正規化3次方程式を求めて、その正規化3次方程式の根を計算し、その正規化3次方程式の根から3次の誤り位置多項式の根を計算する。

## 明 細 書

誤り訂正方法、誤り訂正装置及び  
誤り訂正プログラムが記録された記録媒体

## 技術分野

この発明は、ディジタル無線通信及びディジタル磁気記録において発生する誤りを訂正する誤り訂正方法、誤り訂正装置及び誤り訂正プログラムが記録された記録媒体に関するものである。

## 背景技術

従来、BCH符号の一般的復号は、以下に示すステップから構成されている。

- ①シンドロームの算出
- ②誤りビット数の推定
- ③誤り位置多項式の算出
- ④誤り位置多項式の根の計算
- ⑤誤り位置の訂正

通常、④誤り位置多項式の根の計算は、誤り位置多項式にガロア体の元を逐次代入し、根であるか否かをチェックするチェンサーチと呼ばれる方法により実行される。

このチェンサーチ法は、最大で符号長のステップ数の処理を必要とするため、効率が悪く高速な復号ができない。この問題を解決するために、3重及び4重誤り訂正BCH符号の復号では、誤り位置多項式の直接解法が提案されている。

誤り位置多項式の直接解法は、電子通信学会論文誌「誤り位置多項式

の直接解法による3重及び4重誤り訂正BCH符号の復号」(Vol. J64-A, No. 2, pp. 137-144)や、特開昭59-165153号公報に開示されている。

以下、「誤り位置多項式の直接解法による3重及び4重誤り訂正BCH符号の復号」に記載された従来の3ビット訂正BCH符号及び4ビット訂正BCH符号の誤り訂正方法について説明する。

第1図は前述の論文に記載されたガロア体GF(2<sup>N</sup>)上の3ビット訂正BCH符号の復号アルゴリズムを示すフローチャートである。以下、図を参照しながら、その動作について説明する。なお、Nは偶数であると仮定する。

まず、受信語からシンドロームS<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>5</sub>を計算する(ステップST1)。シンドロームS<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>5</sub>のすべてが“0”ならば誤りなしと推定し、復号処理を終了する(ステップST2, ST3)。シンドロームS<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>5</sub>のすべてが“0”でない場合は、 $U = S_1^3 + S_3$ を計算し、 $U = 0$ ならば1ビット誤りであると推定する(ステップST2, ST4, ST5)。

$U = 0$ でない場合は、

$$V = S_1^3 + S_3 + (S_1^3 \cdot S_3 + S_1 \cdot S_5) / (S_1^3 + S_3)$$

を計算し、 $V = 0$ ならば2ビット誤りであると推定して、2次方程式の解法アルゴリズムを実行する(ステップST6, ST7, ST8)。 $V \neq 0$ でない場合は3ビット誤りであると推定して、3次方程式の解法アルゴリズムを実行する(ステップST6, ST9, ST10)。

1ビット誤りの場合の誤り位置多項式は下記の式(1)で与えられる。式(1)の根はS<sub>1</sub>である。

$$x + S_1 = 0 \quad (1)$$

2ビット誤りの場合の誤り位置多項式は下記の式(2)で与えられる。

$$x^2 + S_1 \cdot x + (S_1^3 + S_3) / S_1 = 0 \quad (2)$$

以下、式(2)の根の求め方を説明するが、説明を簡単化するため、式(2)の代わりに、式(3)のような一般的な2次方程式の解法を説明する。

$$x^2 + \sigma_1 \cdot x + \sigma_2 = 0 \quad (3)$$

$\sigma_1 = 0$  のとき、式(3)の根は  $x = \sigma_2^{1/2}$  である。 $\sigma_1 \neq 0$  のとき、 $x = \sigma_1 \cdot y$  とおくと、式(3)は式(4)のような正規化された2次方程式に変形される。

$$y^2 + y + \sigma_2 / \sigma_1^2 = 0 \quad (4)$$

予め、定数項( $\sigma_2 / \sigma_1^2$ )の値に対して、式(4)の1根をテーブルに格納しておき、定数項でテーブルを参照すれば1根が求まる。このとき、テーブルに格納された1根を  $y_1$  とすれば、もう1根は解と係数の関係から  $y_1 + 1$  となる。式(4)の2根  $y_1$  ,  $y_1 + 1$  から式(3)の2根  $x_1 = \sigma_1 \cdot y_1$  ,  $x_2 = x_1 + \sigma_1$  が求まる。

第2図は2次方程式  $x^2 + \sigma_1 \cdot x + \sigma_2 = 0$  の解法アルゴリズムを示すフローチャートである。なお、適切な誤り位置多項式は重根を持たないため、 $\sigma_1 = 0$  のときは訂正不可能となる。

次に、3ビット誤りの場合の誤り位置多項式は一般に式(5)で与えられる。なお、式(5)の係数はシンドロームにより計算される。

$$x^3 + \sigma_1 \cdot x^2 + \sigma_2 \cdot x + \sigma_3 = 0 \quad (5)$$

$x = y + \sigma_1$  とおくと、式(5)は式(6)のような正規化された3次方程式に変形される。

$$y^3 + p \cdot y + q = 0 \quad (6)$$

$$p = \sigma_1^2 + \sigma_2$$

$$q = \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_3$$

ところで、 $\omega$ を1の3乗根（ガロア体 $GF(2^N)$ の $N$ を偶数と仮定しているため1の3乗根は存在する）とすると、一般に次式が成立する。

$$\begin{aligned} & \{y + (\beta + \gamma)\} \{y + (\beta \cdot \omega + \gamma \cdot \omega^2)\} \\ & \{y + (\beta \cdot \omega^2 + \gamma \cdot \omega)\} = y + \beta \cdot \gamma \cdot y + \beta^3 + \gamma^3 \quad (7) \end{aligned}$$

式(6)と式(7)の対応する係数を等値して、下記の2個の関係式(式(8))を得る。

$$\begin{aligned} \beta^3 + \gamma^3 &= q \\ \beta \cdot \gamma &= p \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)より $\beta^3$ と $\gamma^3$ は下記の式(9)に示す2次方程式の2根となる。

$$t^2 + q \cdot t + p^3 = 0 \quad (9)$$

式(9)は上述した2次方程式の解法を用いて解くことができる。2根を $t_1$ 、 $t_2$ とすると、 $t_1 = \beta^3$ 、 $t_2 = \gamma^3$ であり、これから立方根テーブルを参照して $\beta$ と $\gamma$ を求めることができる。

立方根は3つあるが、そのうちの1つをテーブルに格納しておけば、他の2根は1の3乗根 $\omega$ を利用して求めることができる。 $t_1$ で立方根テーブルを参照して $t_1^{1/3}$ を得たとすると、 $\beta$ は $t_1^{1/3}$ 、 $t_1^{1/3} \cdot \omega$ 、 $t_1^{1/3} \cdot \omega^2$ のいずれかであり、また、 $t_2$ で立方根テーブルを参照して $t_2^{1/3}$ を得たとすると、 $\gamma$ は $t_2^{1/3}$ 、 $t_2^{1/3} \cdot \omega$ 、 $t_2^{1/3} \cdot \omega^2$ のいずれかである。

ここで、 $\beta$ 、 $\gamma$ を式(8)の第2式を満たすように選ぶと、式(6)の3根 $y_1 = \beta + \gamma$ 、 $y_2 = \beta \cdot \omega + \gamma \cdot \omega^2$ 、 $y_3 = \beta \omega^2 + \gamma \cdot \omega$ が求まり、さらに、式(5)の3根 $x_1 = y_1 + \sigma_1$ 、 $x_2 = y_2 + \sigma$

1,  $x^3 = y^3 + \sigma^1$  が求まる。

第3図は3次方程式の解法アルゴリズムを示すフローチャートであり、第4図は第3図において正規化された3次方程式  $y^3 + p y + q = 0$  の解法アルゴリズムを示すフローチャートである。第4図に示すように本アルゴリズムでは立方根テーブルが必要である。

1～3ビットの誤りと推定された場合、上述の各誤り位置多項式の直接解法により、その根を算出することができる。その算出された根（ガロア体の元）の指数は誤り位置を表すため、ガロア体の各元に対して、その指数を格納したテーブルを用意すれば、このテーブルを参照して誤り位置を特定することができる。

誤り位置を特定すると、誤りが検出された位置の誤りを訂正し（ステップST11）、復号結果を出力する。

以上から明らかなように、従来の3ビット訂正BCH符号の復号では、2ビット誤りの場合と3ビット誤りの場合で、別々の処理をするなどアルゴリズムが煩雑になる。また、誤り位置多項式の直接解法においては、2次方程式を解くための正規化2次方程式の根テーブル及び正規化3次方程式を解くための立方根テーブルが必要であり、また、算出された根と誤り位置を対応させるテーブルも必要であるため、それらのテーブルを格納するための大きな記憶容量が必要である。

次に4ビット訂正BCH符号の誤り訂正方法について説明する。

第5図は前述の論文に記載されたガロア体  $GF(2^N)$  上の4ビット訂正BCH符号の復号アルゴリズムを示すフローチャートである。以下、図を参照しながら、その動作について説明する。なお、Nは偶数であると仮定する。

まず、受信語からシンδροーム  $S_1, S_3, S_5, S_7$  を計算する（ステップST21）。シンδροーム  $S_1, S_3, S_5, S_7$  のすべてが

“0”ならば誤りなしと推定し、復号処理を終了する（ステップST 2 2，ST 2 3）。

シンドローム  $S_1, S_3, S_5, S_7$  のすべてが “0” でない場合は、 $U = S_1^3 + S_3$  と、 $V = S_1 (S_1^5 + S_5) + S_3 (S_1^3 + S_3)$  とを計算し、 $V = 0$  の場合は、2ビット以下の誤りが発生したものと推定し、 $U = 0$  ならば1ビット誤りであると推定し（ステップST 2 4，ST 2 5，ST 2 6）、 $U \neq 0$  の場合には、2ビット誤りが発生したと推定する（ステップST 2 4，ST 2 5，ST 2 7）。

一方、 $V \neq 0$  の場合は、3ビットまたは4ビット誤りが発生したものと推定する。

1ビット誤り及び2ビット誤りの誤り位置多項式は、上述した3ビット訂正BCH符号の誤り訂正方法のところで述べたものと全く同じである（ステップST 2 6，ST 2 7，ST 2 8）。一方、3ビットまたは4ビット誤りが発生した場合は、下記の式（10）に示す4次の誤り位置多項式の係数を計算する（ステップST 2 9）。

$$x^4 + \sigma_1 \cdot x^3 + \sigma_2 \cdot x^2 + \sigma_3 \cdot x + \sigma_4 = 0 \quad (10)$$

ここで、定数項  $\sigma_4$  が “0” ならば、3ビット誤りであると推定して、3次方程式の解法アルゴリズムを実行し（ステップST 3 0，ST 3 1）、定数項  $\sigma_4$  が “0” でない場合は、4ビット誤りであると推定して、4次方程式の解法アルゴリズムを実行する（ステップST 3 0，ST 3 2）。

3ビット誤りの場合、誤り位置多項式は下記の式（11）に示す3次方程式であり、3ビット訂正BCH符号の復号のところで述べた3次方程式の解法アルゴリズムを用いて解くことができる（ステップST 3 1）。

$$x^3 + \sigma_1 \cdot x^2 + \sigma_2 \cdot x + \sigma_3 = 0 \quad (11)$$



次に4ビット誤りの場合の4次方程式の解法について説明する。

式(10)が2次多項式の積に因数分解されたとすると、式(12)の展開式のように表される。

$$\begin{aligned} & (x^2 + p_1 \cdot x + q_1)(x^2 + p_2 \cdot x + q_2) \\ &= x^4 + (p_1 + p_2)x^3 + (q_1 + q_2 + p_1 \cdot p_2)x^2 \\ &+ (p_1 \cdot q_2 + p_2 \cdot q_1)x + q_1 \cdot q_2 \end{aligned} \quad (12)$$

式(10)と式(12)の対応する係数を等値して、下記の4個の関係式(式(13))を得る。

$$\begin{aligned} p_1 + p_2 &= \sigma_1 \\ q_1 + q_2 + p_1 \cdot p_2 &= \sigma_2 \\ p_1 \cdot q_2 + p_2 \cdot q_1 &= \sigma_3 \\ q_1 \cdot q_2 &= \sigma_4 \end{aligned} \quad (13)$$

$p_1 \cdot p_2 = \lambda$ とおくと、式(13)より式(14)のような正規化された3次方程式が得られる。

$$\begin{aligned} & \lambda^3 + (\sigma_2^2 + \sigma_1 \cdot \sigma_3)\lambda + \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 \\ &+ \sigma_3^2 + \sigma_1^2 \cdot \sigma_4 = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

式(14)を上述の正規化された3次方程式の解法アルゴリズムにより解き、1根を $\lambda_1$ とすると、 $p_1$ と $p_2$ は式(15)の2次方程式の2根として求まり、 $q_1$ と $q_2$ は式(16)の2次方程式の2根として求まる。

$$x^2 + \sigma_1 \cdot x + \lambda_1 = 0 \quad (15)$$

$$x^2 + (\sigma_2 + \lambda_1)x + \sigma_4 = 0 \quad (16)$$

$(p_1, q_1)$ と $(p_2, q_2)$ を式(13)の第3式を満たすように選び、 $p_1$ と $q_1$ より式(17)の2次方程式を解いて式(10)の2根 $x_1, x_2$ が求まり、また、 $p_2$ と $q_2$ より式(18)の2次方程式を解いて式(10)の残りの2根 $x_3, x_4$ が求まる。

$$x^2 + p_1 \cdot x + q_1 = 0 \quad (17)$$

$$x^2 + p_2 \cdot x + q_2 = 0 \quad (18)$$

第6図は4次の誤り位置多項式の解法アルゴリズムを示すフローチャートである。本アルゴリズムでは図に示すように2次方程式を4回解く必要があり、また、 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $q_1$ 、 $q_2$ から適当な組合せを選ぶなど処理が複雑かつ多いという問題点がある。

1～4ビットの誤りと推定された場合、上述の各誤り位置多項式の直接解法により、その根を算出することができる。算出された根（ガロア体の元）の指数は誤り位置を表すため、テーブルを参照して誤り位置を特定することができる。

以上から明らかなように、4ビット訂正BCH符号の復号では、3ビット誤りの場合と4ビット誤りの場合で、別々の処理をするなどアルゴリズムが煩雑である。また、4次の誤り位置多項式の直接解法においては、2次方程式を4回解く必要があるなどアルゴリズムが複雑で処理ステップ数が多い。また、上述の3ビット訂正BCH符号と同様に、正規化2次方程式の根テーブル及び正規化3次方程式を解くための立方根テーブルや、算出された誤り位置多項式の根と誤り位置を対応させるテーブルも必要であるため、それらのテーブルを格納するための大きな記憶容量が必要である。

従来の誤り訂正方法は以上のように構成されているので、復号アルゴリズムの処理の分岐が多く煩雑であり、処理量が多くなる課題があった。また、多くのテーブルを用意する必要があるため、大きな記憶容量が必要である課題があった。

なお、従来のアルゴリズムを回路で実現する場合、上述のテーブルをROMにより実現するが、ROMを多用すると回路規模が大きくなる課題もあった。

この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、復号アルゴリズムを単純化して処理量を低減することができる誤り訂正方法、誤り訂正装置及び誤り訂正プログラムが記録された記録媒体を得ることを目的とする。

また、この発明は、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる誤り訂正方法、誤り訂正装置及び誤り訂正プログラムが記録された記録媒体を得ることを目的とする。

#### 発明の開示

この発明に係る誤り訂正方法は、誤りビット数推定ステップにより推定された誤りビット数が2ビット誤り又は3ビット誤りである場合、そのシンδροームから3次の誤り位置多項式を生成する多項式生成ステップと、その多項式生成ステップにより生成された3次の誤り位置多項式から正規化3次方程式を求めて、その正規化3次方程式の根を計算し、その正規化3次方程式の根から3次の誤り位置多項式の根を計算する多項式解法ステップと、その多項式解法ステップにより計算された3次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正ステップとを設けたものである。

このことによって、復号アルゴリズムを単純化して処理量を低減することができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、多項式解法ステップが正規化3次方程式の根を計算する際、ガロア体上の多項式を部分体上の多項式に変換して、その部分体の立方根を計算し、その部分体の立方根からガロア体の立方根を算出して、正規化3次方程式の根を計算するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくす

ることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、訂正ステップが誤り位置多項式の根から誤り位置を特定する際、その誤り位置多項式の根をガロア体元に代入したのち、そのガロア体元に所定の係数を乗算しながら適切なガロア体元を検索して誤り位置を特定するようにしたものである。

このことによって、誤り位置多項式の根から誤り位置を算出するためのガロア体のテーブルが不要になり、更に必要なテーブルのサイズを削減することができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、誤りビット数推定ステップにより推定された誤りビット数に応じて2次の誤り位置多項式又は4次の誤り位置多項式を生成する多項式生成ステップと、その多項式生成ステップにより生成された2次の誤り位置多項式の根を計算する2次方程式解法ステップと、その多項式生成ステップにより生成された4次の誤り位置多項式の根を計算する4次方程式解法ステップと、その2次方程式解法ステップより計算された2次の誤り位置多項式の根又は4次方程式解法ステップより計算された4次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正ステップとを設けたものである。

このことによって、復号アルゴリズムを単純化して処理量を低減することができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、多項式生成ステップにより生成された4次の誤り位置多項式から正規化3次方程式を生成して、その正規化3次方程式の根を計算する3次方程式解法ステップと、その3次方程式解法ステップにより計算された正規化3次方程式の根から2次方程式を生成して、その2次方程式の根を計算する第1の2次方程式解法ステップと、その第1の2次方程式解法ステップにより計算された2次方程式の根から2組の2次方程式を生成して、2組の2次方程式の根を計算す

る第2の2次方程式解法ステップと、その第2の2次方程式解法ステップにより計算された2次方程式の4根から4次の誤り位置多項式の根を特定する根特定ステップとから4次方程式解法ステップを構成するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、3次方程式解法ステップが正規化3次方程式の根を計算する際、ガロア体上の多項式を部分体上の多項式に変換して、その部分体の立方根を計算し、その部分体の立方根からガロア体の立方根を算出して、正規化3次方程式の根を計算するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、ガロア体の部分体四則演算を実施して受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定ステップを設けたものである。

このことによって、速やかに誤り位置を特定して、その誤り位置の値を訂正することができるとともに、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、誤りビット数推定ステップが部分体を指数表現するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、誤りビット数推定ステップが部分体をベクトル表現するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくす

ることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、誤りビット数推定ステップが部分体を正規基底で表現するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正方法は、誤りビット数推定ステップが部分体を双対基底で表現するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、誤りビット数推定手段により推定された誤りビット数が2ビット誤り又は3ビット誤りである場合、そのシンドロームから3次の誤り位置多項式を生成する多項式生成手段と、その多項式生成手段により生成された3次の誤り位置多項式から正規化3次方程式を求めて、その正規化3次方程式の根を計算し、その正規化3次方程式の根から3次の誤り位置多項式の根を計算する多項式解法手段と、その多項式解法手段により計算された3次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正手段とを設けたものである。

このことによって、復号アルゴリズムを単純化して処理量を低減することができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、多項式解法手段が正規化3次方程式の根を計算する際、ガロア体上の多項式を部分体上の多項式に変換して、その部分体の立方根を計算し、その部分体の立方根からガロア体の立方根を算出して、正規化3次方程式の根を計算するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくす

ることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、訂正手段が誤り位置多項式の根から誤り位置を特定する際、その誤り位置多項式の根をガロア体元に代入したのち、そのガロア体元に所定の係数を乗算しながら適切なガロア体元を検索して誤り位置を特定するようにしたものである。

このことによって、誤り位置多項式の根から誤り位置を算出するためのガロア体のテーブルが不要になり、その結果、更に必要なテーブルのサイズを削減して、回路規模を小さくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、誤り位置多項式の根をガロア体元に代入したのち、そのガロア体元に所定の係数を乗算しながら適切なガロア体元を検索して誤り位置を特定する訂正手段を複数個並列に配置するようにしたものである。

このことによって、処理の高速化を図ることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、誤りビット数推定手段により推定された誤りビット数に応じて2次の誤り位置多項式又は4次の誤り位置多項式を生成する多項式生成手段と、その多項式生成手段により生成された2次の誤り位置多項式の根を計算する2次方程式解法手段と、その多項式生成手段により生成された4次の誤り位置多項式の根を計算する4次方程式解法手段と、その2次方程式解法手段より計算された2次の誤り位置多項式の根又は4次方程式解法手段より計算された4次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正手段とを設けたものである。

このことによって、復号アルゴリズムを単純化して処理量を低減することができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、多項式生成手段により生成された4次の誤り位置多項式から正規化3次方程式を生成して、その正規化3次

方程式の根を計算する 3 次方程式解法手段と、その 3 次方程式解法手段により計算された正規化 3 次方程式の根から 2 次方程式を生成して、その 2 次方程式の根を計算する第 1 の 2 次方程式解法手段と、その第 1 の 2 次方程式解法手段により計算された 2 次方程式の根から 2 組の 2 次方程式を生成して、2 組の 2 次方程式の根を計算する第 2 の 2 次方程式解法手段と、その第 2 の 2 次方程式解法手段により計算された 2 次方程式の 4 根から 4 次の誤り位置多項式の根を特定する根特定手段とから 4 次方程式解法手段を構成するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、3 次方程式解法手段が正規化 3 次方程式の根を計算する際、ガロア体上の多項式を部分体上の多項式に変換して、その部分体の立方根を計算し、その部分体の立方根からガロア体の立方根を算出して、正規化 3 次方程式の根を計算するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、ガロア体の部分体四則演算を実施して受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定手段を設けたものである。

このことによって、速やかに誤り位置を特定して、その誤り位置の値を訂正することができるとともに、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、誤りビット数推定手段が部分体を指数表現するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくす



ることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、誤りビット数推定手段が部分体をベクトル表現するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、誤りビット数推定手段が部分体を正規基底で表現するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正装置は、誤りビット数推定手段が部分体を双対基底で表現するようにしたものである。

このことによって、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正プログラムが記録された記録媒体は、誤りビット数が2ビット誤り又は3ビット誤りである場合、シンδροームから3次の誤り位置多項式を生成する多項式生成処理と、その3次の誤り位置多項式から正規化3次方程式を求めて、その正規化3次方程式の根を計算し、その正規化3次方程式の根から3次の誤り位置多項式の根を計算する多項式解法処理と、その3次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正処理とを行うプログラムを記録するものである。

このことによって、復号アルゴリズムを単純化して処理量を低減することができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正プログラムが記録された記録媒体は、誤りビット数に応じて2次の誤り位置多項式又は4次の誤り位置多項式を生成する多項式生成処理と、その2次の誤り位置多項式の根を計算する2次

方程式解法処理と、その4次の誤り位置多項式の根を計算する4次方程式解法処理と、その2次の誤り位置多項式の根又は4次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正処理とを行うプログラムを記録するものである。

このことによって、復号アルゴリズムを単純化して処理量を低減することができる効果がある。

この発明に係る誤り訂正プログラムが記録された記録媒体は、ガロア体の部分体四則演算を実施して受信語からシンドロームを計算し、そのシンドロームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定処理を行うプログラムを記録するものである。

このことによって、速やかに誤り位置を特定して、その誤り位置の値を訂正することができるとともに、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。

#### 図面の簡単な説明

第1図はガロア体 $GF(2^N)$ 上の3ビット訂正BCH符号の復号アルゴリズムを示すフローチャートである。

第2図は2次方程式 $x^2 + \sigma_1 \cdot x + \sigma_2 = 0$ の解法アルゴリズムを示すフローチャートである。

第3図は3次方程式の解法アルゴリズムを示すフローチャートである。

第4図は正規化された3次方程式 $y^3 + p y + q = 0$ の解法アルゴリズムを示すフローチャートである。

第5図はガロア体 $GF(2^N)$ 上の4ビット訂正BCH符号の復号アルゴリズムを示すフローチャートである。

第6図は4次の誤り位置多項式の解法アルゴリズムを示すフローチャ

ートである。

第 7 図はこの発明の実施の形態 1 による 3 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正方法を示すフローチャートである。

第 8 図は立方根算出アルゴリズムを示すフローチャートである。

第 9 図はこの発明の実施の形態 2 による 4 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正方法を示すフローチャートである。

第 10 図はこの実施の形態 2 における 4 次方程式の解法アルゴリズムを示すフローチャートである。

第 11 図はこの実施の形態 3 における誤り位置算出アルゴリズムを示すフローチャートである。

第 12 図はこの発明の実施の形態 4 による 3 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正装置を示す構成図である。

第 13 図は 2 次方程式解法回路を示す構成図である。

第 14 図は立方根算出回路を示す構成図である。

第 15 図は変換回路を示す構成図である。

第 16 図は正規化 3 次方程式解法回路を示す構成図である。

第 17 図は変換回路を示す構成図である。

第 18 図は誤り位置多項式解法回路を示す構成図である。

第 19 図は誤り位置多項式解法回路を示す構成図である。

第 20 図は 4 次方程式解法回路を示す構成図である。

第 21 図はこの発明の実施の形態 6 による誤り訂正装置を示す構成図である。

第 22 図は誤り位置検出回路を示す構成図である。

第 23 図は 3 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正方法のフローチャートである。

第 24 図はシンδροーム S 1 の計算方法を示すフローチャートである

。

第 2 5 図は 1 ビット訂正 B C H 符号の誤り訂正装置を示す構成図である。

第 2 6 図はこの実施の形態 1 0 による誤り訂正装置を示す構成図である。

第 2 7 図はガロア体  $K$  の 2 元  $X = (x_1, x_0)$ ,  $Y = (y_1, y_0)$  の積  $X \cdot Y$  を計算するフローチャートである。

第 2 8 図はガロア体  $K$  の元  $X = (x_1, x_0)$  の逆元  $X^{-1}$  を計算するフローチャートである。

第 2 9 図はガロア体演算プロセッサ 2 0 6 のブロック図である。

第 3 0 図はこの実施の形態 1 1 の誤り訂正装置を示す構成図である。

第 3 1 図はシンδροーム生成回路 2 0 7 のブロック図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための最良の形態について、添付の図面に従って説明する。

##### 実施の形態 1 .

第 7 図はこの発明の実施の形態 1 による 3 ビット訂正 B C H 符号の誤り訂正方法を示すフローチャートである。図において、S T 5 1 は受信語からシンδροーム  $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_5$  を計算するシンδροーム計算ステップ、S T 5 2 は誤りの有無を判定する有無判定ステップ、S T 5 3 は誤りがないため処理を終了する終了ステップ、S T 5 4 は 1 ビット誤りであるか否かを判定する 1 ビット誤り判定ステップである。なお、シンδροーム計算ステップ S T 5 1, 有無判定ステップ S T 5 2 及び 1 ビット誤り判定ステップ S T 5 4 から誤りビット推定ステップが構成されている。

S T 5 5 は 1 ビット誤りを訂正する 1 ビット誤り訂正ステップ、S T 5 6 はシンドロームから 3 次の誤り位置多項式を生成する多項式生成ステップ、S T 5 7 は 3 次の誤り位置多項式から正規化 3 次方程式を求めて、その正規化 3 次方程式の根を計算し、その正規化 3 次方程式の根から 3 次の誤り位置多項式の根を計算する多項式解法ステップ、S T 5 8 は 3 次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正ステップである。

次に動作について説明する。

ガロア体  $GF(2^8)$  上の符号長が  $n$ 、情報点数が  $k$  の  $(n, k)$  3 ビット訂正 BCH 符号を用いて詳細に説明する。

まず、ステップ S T 5 1 において、受信語からシンドローム  $S_1, S_3, S_5$  を計算する。受信ビット  $(r_{n-1}, r_{n-2}, \dots, r_1, r_0)$  を式 (21) の多項式で表すと、シンドロームは  $S_1 = R(\alpha)$ ,  $S_3 = R(\alpha^3)$ ,  $S_5 = R(\alpha^5)$  と計算される。ただし、 $\alpha$  はガロア体の原始元であり、原始多項式  $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$  の根とする。

$$R(x) = r_{n-1}x^{n-1} + r_{n-2}x^{n-2} + \dots + r_2x^2 + r_1x + r_0 \quad (21)$$

次に、ステップ S T 5 2 において、シンドローム  $S_1, S_3, S_5$  のすべてが “0” であれば誤りなしと推定し、復号処理を終了する（ステップ S T 5 3）。シンドローム  $S_1, S_3, S_5$  のすべてが “0” でない場合は、ステップ S T 5 4 において、 $T = S_1^3 + S_3$  を計算し、 $T$  が “0” であれば 1 ビット誤りであると推定する（ステップ S T 5 5）。

このとき、誤り位置に対応するガロア体の元は  $S_1$  である。ガロア体の元の指数は誤り位置に対応するため、予め、ガロア体の各元に対して、その指数をテーブルに格納しておき、その算出されたガロア体の元に

よりテーブルを参照することにより、誤り位置を特定して誤りを訂正する。

一方、Tが“0”でない場合は、ステップS T 5 6において、式(22)の3次の誤り位置多項式を生成し、3次の誤り位置多項式の係数をシンドロームより計算する。

$$x^3 + \sigma 1 \cdot x^2 + \sigma 2 \cdot x + \sigma 3 = 0 \quad (22)$$

$$\sigma 1 = S 1$$

$$\sigma 2 = S 1^2 + (S 1^5 + S 5) / (S 1^3 + S 3)$$

$$\sigma 3 = S 3 + S 1 (S 1^5 + S 5) / (S 1^3 + S 3)$$

次に、ステップS T 5 7において、ステップS T 5 6で生成された3次の誤り位置多項式の根を計算する。

3次方程式の解法は、従来技術のところで述べた3次方程式の解法アルゴリズム及び正規化3次方程式の解法アルゴリズムを適用すればよいが、この実施の形態1では、その一部である2次方程式の解法アルゴリズム及び立方根算出アルゴリズムをテーブルルックアップではなく、以下に示す構成とする。

まず、2次方程式の解法アルゴリズムについて説明する。

一般的な2次方程式は式(23)で与えられるが、 $x = p \cdot y$ とおくと、式(23)は、式(24)のように正規化された形に変形される。

$$x^2 + p \cdot x + q = 0 \quad (23)$$

$$y^2 + y + c = 0, \quad c = q / p^2 \quad (24)$$

ガロア体  $GF(2^8)$  の基底として多項式基底  $\{\alpha^7, \alpha^6, \alpha^5, \alpha^4, \alpha^3, \alpha^2, \alpha, 1\}$  をとり、 $c$  を式(25)に示すように基底展開すると、式(24)の1根  $y$  は式(26)で与えられる。なお、式(24)のもう1つの根は解と係数の関係から  $y + 1$  である。これより、式(23)の2根  $x_1 = p \cdot y, x_2 = x_1 + p$  が求まる。

$$c = c_7 \cdot \alpha^7 + c_6 \cdot \alpha^6 + c_5 \cdot \alpha^5 + c_4 \cdot \alpha^4 + c_3 \cdot \alpha^3 + c_2 \cdot \alpha^2 + c_1 \cdot \alpha + c_0 \quad (25)$$

$$y = y_7 \cdot \alpha^7 + y_6 \cdot \alpha^6 + y_5 \cdot \alpha^5 + y_4 \cdot \alpha^4 + y_3 \cdot \alpha^3 + y_2 \cdot \alpha^2 + y_1 \cdot \alpha + y_0 \quad (26)$$

$$y_7 = c_0 + c_1 + c_2 + c_4$$

$$y_6 = c_0 + c_1 + c_2 + c_4 + c_7$$

$$y_5 = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_6$$

$$y_4 = c_0 + c_7$$

$$y_3 = c_1 + c_2 + c_3 + c_4$$

$$y_2 = c_0 + c_3 + c_4 + c_6$$

$$y_1 = c_0 + c_2 + c_4$$

$$y_0 = 0$$

次に立方根算出アルゴリズムについて説明する。

本アルゴリズムではガロア体  $GF(2^8)$  (以下、 $K$ とする) の元の立方根を部分体  $GF(2^4)$  (以下、 $L$ とする) 上の演算及びテーブルにより算出する。

ガロア体  $K$  の部分体  $L$  上の基底を  $\{1, \beta\}$  とする。ここで、 $\beta$  は部分体  $L$  に属さないガロア体  $K$  の元であり、 $\beta^2 + p \cdot \beta + q = 0$  ( $p, q$  は  $L$  の元) を満たすものとする。一般にガロア体  $K$  の元  $B$  は、部分体  $L$  の元  $b_0, b_1$  を用いて  $B = b_1 \cdot \beta + b_0$  と表される。

以下では、 $b_1$  が 0 でないと仮定し、方程式  $A^3 = B$  をみたす  $B$  の立方根  $A$  の算出方法について説明する。

立方根  $A = a_1 \cdot \beta + a_0$  と表すと、上述の方程式は部分体上の方程式、即ち、式 (27) 及び式 (28) に変形される。

$$(p^2 + q) a_1^3 + p \cdot a_0 \cdot a_1^2 + a_0^2 \cdot a_1 = b_1$$

(27)

$$a_0^3 + p \cdot q \cdot a_1^3 + q \cdot a_0 \cdot a_1^2 = b_0 \quad (28)$$

式(27)  $\times b_0$  + 式(28)  $\times b_1$  より、式(29)を得る。

$$\begin{aligned} & \{ (p^2 + q) b_0 + p \cdot q \cdot b_1 \} a_1^3 \\ & + (p \cdot b_0 + q \cdot b_1) a_0 \cdot a_1^2 \\ & + b_0 \cdot a_0^2 \cdot a_1 + b_1 \cdot a_0^3 \\ & = 0 \end{aligned} \quad (29)$$

式(28)の両辺を  $a_1^3$  で割り、 $x = a_0 / a_1$  とおき、式(30)に示す部分体上の3次方程式を得る。

$$\begin{aligned} & b_1 \cdot x^3 + b_0 \cdot x^2 + (p \cdot b_0 + q \cdot b_1) x \\ & + p \cdot q \cdot b_1 + (p^2 + q) b_0 = 0 \end{aligned} \quad (30)$$

さらに、式(30)において、 $x = y + b_0 / b_1$  とおくと、式(31)に示す部分体上の正規化された3次方程式を得る。

$$y^3 + b_2 \cdot y + p \cdot b_2 = 0 \quad (31)$$

$$b_2 = (b_0 / b_1)^2 + p (b_0 / b_1) + q$$

式(31)は部分体元  $b_2$  により定まる方程式であり、 $b_2$  に対して式(31)の方程式の1根をテーブルに格納しておけば、 $b_2$  でテーブルを参照することにより式(31)の1根が求まる。従って、式(30)の1根  $x$  が求まる。これから式(27)を用いて式(32)のように  $a_1^3$  が計算され、部分体の立方根テーブルを参照して  $a_1$  を求めることができる。また、 $a_0 = x \cdot a_1$  により、 $a_0$  も求まる。

$$a_1^3 = b_1 / (x^2 + p \cdot x + p^2 + q) \quad (32)$$

以上は  $b_1$  が“0”でない場合の立方根算出方法であるが、 $b_1$  が“0”のとき  $B$  は部分体の元であり、部分体の立方根テーブルを参照して、その立方根を算出することができる。

第8図は立方根算出アルゴリズムを示すフローチャートである。

ステップ S T 6 4 のテーブル A は式(31)の根テーブルであり、ス



テップ S T 6 7 及びステップ S T 7 0 のテーブル B は部分体の立方根テーブルである。以下、図の動作について説明する。

ステップ S T 6 1 では初期値 B を部分体に分割する。ステップ S T 6 2 では  $b_1$  が “0” であるか否かについて調べる。 $b_1$  が “0” であるならばステップ S T 7 0 に進み、 $b_1$  が “0” でない場合はステップ S T 6 3 に進む。

ステップ S T 7 0 ではテーブル B を参照して  $b_0$  の立方根  $q$  を出力する。立方根  $q$  が存在しない場合は処理を終了し、立方根  $q$  が存在する場合は立方根 A に  $q$  を代入して処理を終了する（ステップ S T 7 1, S T 7 2）。

ステップ S T 6 2 において  $b_1$  が 0 でない場合、ステップ S T 6 3 において、式 (3 1) の  $b_2$  を計算し、ステップ S T 6 4 において、テーブル A を参照して、式 (3 1) の根  $y$  を出力する。

根  $y$  が存在する場合はステップ S T 6 6 に進み、根  $y$  が存在しない場合は処理を終了する（ステップ S T 6 5）。

ステップ S T 6 6 では式 (3 0) の根  $x$  を計算し、これを用いて  $a_1^3$  にあたる  $b_3$  を計算する。ステップ S T 6 7 ではテーブル B を参照して  $b_3$  の立方根  $q$  を算出する。立方根  $q$  が存在すればステップ S T 6 9 に進み、立方根  $q$  が存在しなければ処理を終了する（ステップ S T 6 8）。ステップ S T 6 9 では  $a_0$  を計算し、B の立方根を部分体に分割して出力する。

ここで必要なテーブル A とテーブル B のサイズについて具体例を上げて説明する。 $\gamma = \alpha^{17}$  とおくと、これは部分体  $GF(2^4)$  を生成する。即ち、集合  $\{0, 1, \gamma, \gamma^2, \dots, \gamma^{13}, \gamma^{14}\}$  はガロア体の加減乗除演算で閉じた集合となる。 $\beta = \alpha^{123}$  とおくと、 $\beta$  はこの部分体に属さず、また、 $\beta^2 + p \cdot \beta + q = 0$  ( $p = 1, q = \gamma^3$ ) を満たす

。このとき、式(31)の根テーブル(テーブルA)は8ワード×4ビット、部分体の立方根テーブル(テーブルB)は5ワード×4ビットである。

以上説明した2次方程式の解法アルゴリズム及び立方根算出アルゴリズムを用いて正規化3次方程式を解くことができる。

以下、式(22)の3次の誤り位置多項式の解法について説明する。式(22)において、 $x = y + \sigma 1$ とおくと、式(22)は従来技術で説明した式(6)の正規化3次方程式に変換される。さらに、正規化3次方程式の係数 $p$ 、 $q$ より、式(9)の2次方程式が得られるが、これを上述した2次方程式の解法アルゴリズムを用いて解き1根 $t$ を算出する。

次に、上述した立方根算出アルゴリズムを用いて $t$ の立方根 $\beta$ を算出する。式(8)より $\gamma$ は $p/\beta$ と表され、式(6)の正規化3次方程式の3根が式(33)のように算出される。ただし、 $\omega$ は1の3乗根である。式(33)の3根から式(22)の3次の誤り位置多項式の3根 $x_1 = y_1 + \sigma 1$ 、 $x_2 = y_2 + \sigma 1$ 、 $x_3 = y_3 + \sigma 1$ が算出される。

$$y_1 = \beta + p/\beta$$

$$y_2 = \beta \cdot \omega + p/(\beta \cdot \omega)$$

$$y_3 = \beta \cdot \omega^2 + p/(\beta \cdot \omega^2) \quad (33)$$

ステップST58ではステップST57で算出された3根に対してガロア体の誤り位置テーブルを用いて誤り位置を特定し、その誤りの訂正処理を行う。ただし、2ビット誤りの場合、式(22)が自明な根0をもつが、この根に対しては訂正処理を行わない。

以上から明らかなように、この実施の形態1によれば、3次の誤り位置多項式の根を算出するための正規化2次方程式の根テーブル及び立方根テーブルが不要であり、より小さい部分体上のテーブルで済む効果が

ある。また、従来の誤り訂正方法では2ビット誤りと3ビット誤りで場合分けをしていたが、この実施の形態1の誤り訂正方法では、2ビット誤りと3ビット誤りを同じシーケンスで処理するため、アルゴリズムが単純化される効果がある。

なお、従来技術と実施の形態1で必要とするテーブルは、従来の誤り訂正方法では正規化2次方程式の根テーブル256ワード×8ビット、立方根テーブル85ワード×8ビット、誤り位置テーブル256ワード×8ビットが必要であるのに対し、この実施の形態1ではテーブルAの8ワード×4ビット、テーブルBの5ワード×4ビット、誤り位置テーブル256ワード×8ビットであり、誤り位置テーブルを除くと従来のテーブルサイズの約2%である。

## 実施の形態2.

第9図はこの発明の実施の形態2による4ビット訂正BCH符号の誤り訂正方法を示すフローチャートである。図において、ST81は受信語からシンドロームS1, S3, S5, S7を計算するシンドローム計算ステップ、ST82は誤りの有無を判定する有無判定ステップ、ST83は誤りがないため処理を終了する終了ステップ、ST84は2ビット以下の誤りであるか否かを判定するビット誤り判定ステップである。なお、シンドローム計算ステップST81, 有無判定ステップST82及びビット誤り判定ステップST84から誤りビット推定ステップが構成されている。

ST85は2ビット以下の誤りが検出された場合、2次の誤り位置多項式を生成する2次方程式生成ステップ(多項式生成ステップ)、ST86は2次方程式の解法アルゴリズムを実行して、2次の誤り位置多項式の根を計算する2次方程式解法ステップ、ST87は3ビット以上の

誤りが検出された場合、4次の誤り位置多項式を生成する4次方程式生成ステップ（多項式生成ステップ）、ST88は4次方程式の解法アルゴリズムを実行して、4次の誤り位置多項式の根を計算する4次方程式解法ステップ、ST89は2次の誤り位置多項式の根又は4次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正ステップである。

次に動作について説明する。

ガロア体GF(2<sup>8</sup>)上の符号長がn、情報点数がkの(n, k) 4ビット訂正BCH符号を用いて詳細に説明する。

まず、ステップST81において、受信語からシンドロームS1, S3, S5, S7を計算する。受信ビット(r<sub>n-1</sub>, r<sub>n-2</sub>, ..., r<sub>1</sub>, r<sub>0</sub>)を式(41)の多項式で表すと、シンドロームはS1=R(α), S3=R(α<sup>3</sup>), S5=R(α<sup>5</sup>), S7=R(α<sup>7</sup>)と計算される。ただし、αはガロア体の原始元であり、原始多項式x<sup>8</sup>+x<sup>4</sup>+x<sup>3</sup>+x<sup>2</sup>+1の根とする。

$$R(x) = r_{n-1}x^{n-1} + r_{n-2}x^{n-2} + \dots + r_2x^2 + r_1x + r_0 \quad (41)$$

次に、ステップST82において、シンドロームS1, S3, S5, S7のすべてが“0”であれば誤りなしと推定し、復号処理を終了する（ステップST83）。シンドロームS1, S3, S5, S7のすべてが“0”でない場合は、ステップST84において、V=S1(S1<sup>5</sup>+S5)+S3(S1<sup>3</sup>+S3)を計算し、Vが“0”ならば2ビット以下の誤りであると推定して、ステップST85に進む。一方、Vが“0”でない場合は3ビット以上の誤りであると推定して、ステップST87に進む。

ステップST85では、式(42)に示す2ビット以下の誤りに対応

する誤り位置多項式の係数を計算する。なお、1ビット誤りの場合、定数項 $\sigma_2$ は0であり、式(42)は自明な根0を有する。

$$x^2 + \sigma_1 x + \sigma_2 = 0 \quad (42)$$

$$\sigma_1 = S_1$$

$$\sigma_2 = (S_1^3 + S_3) / S_1$$

ステップST86では、上記実施の形態1で述べた2次方程式の解法アルゴリズムを実行することにより、式(42)の2次方程式を解いて2根を算出する。

ステップST84において、Vが“0”でない場合は、ステップST87において、式(43)に示す4次の誤り位置多項式の係数を計算する。なお、3ビット誤りの場合、定数項 $\sigma_4$ は0であり、式(43)は自明な根0を有する。

$$x^4 + \sigma_1 \cdot x^3 + \sigma_2 \cdot x^2 + \sigma_3 \cdot x + \sigma_4 = 0 \quad (43)$$

$$\sigma_1 = S_1$$

$$\sigma_2 = \{ S_1 (S_1^7 + S_7) + S_3 (S_1^5 + S_5) \}$$

$$/ \{ S_3 (S_1^3 + S_3) + S_1 (S_1^5 + S_5) \}$$

$$\sigma_3 = \{ S_1 (S_1^3 \cdot S_5 + S_1 \cdot S_7) + S_3 (S_1^6 + S_3^2) \}$$

$$/ \{ S_3 (S_1^3 + S_3) + S_1 (S_1^5 + S_5) \}$$

$$\sigma_4 = \{ S_1^3 (S_1^7 + S_7)$$

$$+ S_3 (S_1^7 + S_1 \cdot S_3^2 + S_7)$$

$$+ S_5 (S_1^5 + S_1^2 \cdot S_3 + S_5) \}$$

$$/ \{ S_3 (S_1^3 + S_3) + S_1 (S_1^5 + S_5) \}$$

式(43)において、 $x = y + c$ 、 $c = (\sigma_3 / \sigma_1)^{1/2}$ とおくと、式(43)は式(44)のように変形される。

$$y^4 + p \cdot y^3 + q \cdot y^2 + r = 0 \quad (44)$$

$$p = \sigma_1$$

$$q = \sigma_1 c + \sigma_2$$

$$r = c^4 + \sigma_1 \cdot c^3 + \sigma_2 \cdot c^2 + \sigma_3 \cdot c + \sigma_4$$

式(44)が2次多項式の積に因数分解されるとすると、式(45)のように展開される。

$$\begin{aligned} & (y^2 + p_1 y + q_1)(y^2 + p_2 y + q_2) \\ &= y^4 + (p_1 + p_2) y^3 + (q_1 + q_2 + p_1 \cdot p_2) y^2 \\ &+ (p_1 \cdot q_2 + p_2 \cdot q_1) y + q_1 \cdot q_2 \end{aligned} \quad (45)$$

式(44)と式(45)の右辺の対応する係数を等値して、式(46)のような4つの関係式を得る。

$$\begin{aligned} p_1 + p_2 &= p \\ q_1 + q_2 + p_1 \cdot p_2 &= q \\ p_1 \cdot q_2 + p_2 \cdot q_1 &= 0 \\ q_1 \cdot q_2 &= r \end{aligned} \quad (46)$$

式(46)の第3式より、 $p_1/q_1 = p_2/q_2 = z$ とおくと、第1式は式(47)に、第2式は式(48)に変形される。

$$z(q_1 + q_2) = p \quad (47)$$

$$q_1 + q_2 + z^2 \cdot q_1 \cdot q_2 = q \quad (48)$$

式(47)と式(48)と式(46)の第4式より、式(49)に示す正規化された3次方程式が得られる。

上記実施の形態1で述べた2次方程式解法アルゴリズム及び立方根算出アルゴリズムを用いて、正規化3次方程式の解法アルゴリズムを実行し、式(49)の1根 $\lambda$ を算出する。式(46)の第4式及び式(47)より、 $q_1$ と $q_2$ は式(50)の2次方程式の2根として求まる。これから、 $p_1 = \lambda \cdot q_1$ 、 $p_2 = \lambda \cdot q_2$ として $p_1$ 、 $p_2$ も求まる。

$$z^3 + (q/r)z + (p/r) = 0 \quad (49)$$

$$t^2 + (p/\lambda) t + r = 0 \quad (50)$$

$p_1, p_2, q_1, q_2$  が計算されると、式 (51) から式 (44) の 2 根  $y_1, y_2$ 、さらに、式 (52) から残りの 2 根  $y_3, y_4$  が求まり、式 (43) の 4 根  $x_1 = y_1 + c, x_2 = y_2 + c, x_3 = y_3 + c, x_4 = y_4 + c$  が求まる。

$$y^2 + p_1 \cdot y + q_1 = 0 \quad (51)$$

$$y^2 + p_2 \cdot y + q_2 = 0 \quad (52)$$

第 10 図はこの実施の形態 2 における 4 次方程式の解法アルゴリズムを示すフローチャートである。ST91 は 4 次方程式の設定ステップ、ST92 は係数変換ステップ、ST93 は正規化 3 次方程式の解法ステップ、ST94～ST96 は 2 次方程式の解法ステップ、ST97 は解変換ステップである。

以下、4 次方程式の解法アルゴリズムを説明する。

ステップ ST92 では、ステップ ST91 において設定された 4 次方程式の係数より式 (44) の  $p, q, r$  を計算する。

ステップ ST93 では、ステップ ST92 で計算された  $p, q, r$  より得られる式 (49) の正規化 3 次方程式の 1 根  $\lambda$  を算出する。

ステップ ST94 では、ステップ ST93 で計算された根  $\lambda$  と  $p, r$  より得られる式 (50) の 2 次方程式の 2 根  $q_1, q_2$  を計算する。

ステップ ST95 及び ST96 では、ステップ ST93 で計算された  $\lambda$  及びステップ ST94 で計算された  $q_1, q_2$  より、式 (51) の 2 次方程式の 2 根及び式 (52) の 2 次方程式の 2 根をそれぞれ計算する。

ステップ ST97 では、ステップ ST95 及び ST96 で算出された 4 根を変換して、ステップ ST91 で設定された 4 次方程式の 4 根を算出する。

ステップ S T 8 9 では、ステップ S T 8 6 又はステップ S T 8 8 において算出された誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤りを訂正する。ガロア体の元の指数は誤り位置に対応するため、予め、ガロア体の各元に対して指数をテーブルに格納しておき、算出された根（ガロア体の元）によりテーブルを参照して誤り位置を特定することができる。特定された誤り位置の誤りを訂正し、復号結果を出力する。なお、ステップ S T 8 6 では、ガロア体の元が 2 つ算出されるが、1 ビット誤りの場合は誤り位置と無関係な 0 根が含まれ、また、ステップ S T 8 8 では、ガロア体の元が 4 つ算出されるが、3 ビット誤りの場合は誤り位置と無関係な 0 根が含まれるが、0 根に対しては訂正処理を行わない。

以上のように、この実施の形態 2 においても、上記実施の形態 1 で述べた正規化 3 次方程式の解法アルゴリズムを用いるので、正規化 2 次方程式の根テーブル及び立方根テーブルが不要であり、より小さい部分体上のテーブルで済む効果がある。また、従来の 4 ビット訂正 B C H 符号の誤り訂正方法では、誤りビット数に応じて処理が分岐していたが、本誤り訂正方法では 2 ビット以下の誤りと 3 ビット以上の誤りに場合分けしているだけなので、アルゴリズムが単純化される効果がある。さらに、この実施の形態 2 における 4 次方程式の解法アルゴリズムでは、2 次方程式を 3 回解くだけなので、従来の解法アルゴリズムよりも計算量が少なくて済む効果がある。

### 実施の形態 3 .

上記実施の形態 1 , 2 の誤り訂正方法における誤り訂正のステップでは、ガロア体のテーブルを参照して誤り位置を算出するものについて示したが、以下に示す構成により誤り位置を算出することも可能である。

第 1 1 図はこの実施の形態 3 における誤り位置算出アルゴリズムを示



すフローチャートである。図において、ST101はガロア体元S及び整数kの初期値設定ステップ、ST102は終了判断ステップ、ST103はガロア体元Sの比較ステップ、ST104はガロア体元S及び整数kの更新ステップ、ST105は誤り位置LOCを計算するステップである。

次に動作について説明する。

ガロア体GF( $2^8$ )上の符号長がn、情報点数がkの(n, k) 3ビット訂正BCH符号を用いて詳細に説明する。

ステップST101では、ガロア体元Sに誤り位置多項式の根KONを代入し、整数kに0を代入する。

ステップST102では、kが符号長nより小さければステップST103に進み、kが符号長nより小さくなければ処理を終了する。

ステップST103では、Sがガロア体元 $\alpha^l$  ( $0 \leq l < 8$ )のいずれかと等しいか否かを判定する。いずれかに等しい場合は、ステップST105において誤り位置LOCにkとlとの和を格納し、処理を終了する。

ステップST103において、ガロア体元のいずれにも等しくない場合はステップST104に進む。

ステップST104では、ガロア体元Sに $\alpha^{-8}$ を乗じ、整数kに8を加算して、ステップST102以降の処理を繰り返す。

この実施の形態3によれば、誤り位置多項式の根から誤り位置を算出するためのガロア体のテーブルが不要になり、上記実施の形態1, 2に適用した場合、必要なテーブルのサイズをさらに削減することが可能である。なお、この実施の形態3では、8ビット毎に誤り位置を探索しているが、一般にmビット毎に探索することも可能である。

実施の形態 4 .

第 1 2 図はこの発明の実施の形態 4 による 3 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正装置を示す構成図であり、図において、1 は受信語からシンドロームを計算するシンドローム生成回路、2 はシンドローム生成回路 1 により計算されたシンドロームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定回路である。なお、シンドローム生成回路 1 及び誤りビット数推定回路 2 から誤りビット数推定手段が構成されている。

3 は誤りビット数推定回路 2 により推定された誤りビット数に応じて誤り位置多項式を生成する誤り位置多項式生成回路（多項式生成手段）、4 は誤り位置多項式生成回路 3 により生成された誤り位置多項式の根を計算する誤り位置多項式解法回路（多項式解法手段）、5 は誤り位置テーブル、6 は遅延回路、7 は誤り位置多項式解法回路 4 により計算された誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正回路である。なお、誤り位置テーブル 5 , 遅延回路 6 及び訂正回路 7 から訂正手段が構成されている。

次に動作について説明する。

ガロア体  $GF(2^8)$  上の符号長が  $n$ 、情報点数が  $k$  の  $(n, k)$  3 ビット訂正 BCH 符号を用いて詳細に説明する。ここでは、ガロア体は多項式基底上で処理されるものとする。

受信語はシンドローム生成回路 1 及び遅延回路 6 に入力される。シンドローム生成回路 1 では、受信語からシンドローム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  を計算し、その計算結果を誤りビット数推定回路 2 に出力する。

誤りビット数推定回路 2 では、シンドローム生成回路 1 において計算されたシンドローム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  から受信語に発生した誤りビット数を推定する。

シンドローム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  のすべてが “0” ならば誤りなしと推

定し、復号処理を終了する。シンドローム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  のすべてが “0” でない場合は  $T = S_1^3 + S_3$  を計算し、 $T$  が “0” ならば 1 ビット誤りであると推定し、 $T$  が “0” でなければ 2 ビット以上の誤りであると推定する。

誤りビット数推定回路 2 において誤りが検出された場合、誤り位置多項式生成回路 3 は誤り位置多項式を生成する。2 ビット以上の誤りの場合、式 (22) の誤り位置多項式の係数  $\sigma_1$  ,  $\sigma_2$  ,  $\sigma_3$  を生成する。また、1 ビット誤りの場合は  $\sigma_1 = S_1$  ,  $\sigma_2 = 0$  ,  $\sigma_3 = 0$  とする。

誤り位置多項式解法回路 4 では、誤り位置多項式生成回路 3 で生成された誤り位置多項式の根を算出する。誤り位置多項式解法回路 4 の詳細な構成及び動作を説明する前に本回路で使用される 2 次方程式解法回路 42 , 立方根算出回路 43 及び正規化 3 次方程式解法回路 62 について説明する (第 18 図及び第 19 図を参照)。

第 13 図は 2 次方程式解法回路 42 (2 次方程式  $x^2 + p \cdot x + q = 0$  の解法回路) を示す構成図であり、図において、11 はガロア体 2 乗回路、12 はガロア体除算回路、13 は組合せ回路、14 はガロア体乗算回路、15 はガロア体加算回路である。

まず、入力端子に 2 次方程式の係数  $p$  ,  $q$  が入力される。

ガロア体 2 乗回路 11 では  $p$  を 2 乗して  $p^2$  を生成し、その  $p^2$  をガロア体除算回路 12 に出力する。

ガロア体除算回路 12 では、 $q$  を  $p^2$  で除算して  $c = q / p^2$  を生成し、その  $c = q / p^2$  を組合せ回路 13 に出力する。

組合せ回路 13 は、式 (26) で与えられる線形組合せ回路である。組合せ回路 13 では  $c = q / p^2$  を入力して式 (24) の正規化 2 次方程式の 1 根  $y$  を生成する。

ガロア体乗算回路 14 では  $y$  と  $p$  を乗算し、2 次方程式の 1 根  $x_1 =$

$p \cdot y$  を出力端子に出力し、また、ガロア体加算回路 15 に出力する。

ガロア体加算回路 15 では  $x_1$  と  $p$  を加算して、もう 1 つの根  $x_2 = x_1 + p$  を出力端子に出力する。

次に立方根算出回路 43 について説明する。

第 14 図は立方根算出回路 43 を示す構成図であり、図において、21 は基底変換回路、22, 27 は部分体除算回路、23, 26 は変換回路、24, 28 はルックアップテーブル、25 は部分体加算回路、29 は部分体乗算回路、30 は基底逆変換回路である。

第 15 図は変換回路 23, 26 を示す構成図であり、図において、31 は部分体 2 乗回路、32 は部分体係数乗算回路、33, 34 は部分体加算回路である。なお、 $c$  は部分体の元である。

次に動作について説明する。

ガロア体  $GF(2^8)$  の部分体  $GF(2^4)$  上の基底を  $\{1, \beta\}$  とする。ここで、 $\beta$  は部分体に属さない元で、 $\beta^2 + p \cdot \beta + q = 0$  ( $p, q$  は部分体の元) を満たすものとする。

最初に、第 15 図の変換回路 23, 26 について説明する。

部分体  $GF(2^4)$  の部分体 2 乗回路 31 は  $x$  を入力すると、 $x$  を 2 乗して  $x^2$  を生成する。

また、部分体係数乗算回路 32 は、 $x$  を  $p$  倍して、 $p \cdot x$  を生成する。

部分体加算回路 33 は、 $x^2$  と  $p \cdot x$  を加算して、 $x^2 + p \cdot x$  を生成し、部分体加算回路 34 は、 $x^2 + p \cdot x$  と定数  $c$  を加算して、 $x^2 + p \cdot x + c$  を生成する。

次に第 14 図の立方根算出回路 43 について説明する。

基底変換回路 21 は、入力されるガロア体  $GF(2^8)$  の元  $B$  を部分体  $GF(2^4)$  の元に分割し、 $B = b_1 \cdot \beta + b_0$  という形に変換する

。ここで、 $b_1$ と $b_0$ は部分体の元である。

部分体除算回路22では $b_0 / b_1$ を計算し、その計算結果を変換回路23と部分体加算回路25に出力する。

変換回路23では式(31)の $b_2$ を計算し(定数 $c$ は $q$ に相当する)、その計算結果をルックアップテーブル24に出力する。

ルックアップテーブル24では $b_2$ に対応する式(31)の1根 $y$ を部分体加算回路25に出力する。

部分体加算回路25では $b_0 / b_1$ と $y$ を加算して、式(30)の根 $x$ を生成し、その根 $x$ を変換回路26に出力する。

変換回路26では $x^2 + p \cdot x + p^2 + q$ を生成し(定数 $c$ は $p^2 + q$ に相当する)、その $x^2 + p \cdot x + p^2 + q$ を部分体除算回路27に出力する。

部分体除算回路27では、 $b_1 / (x^2 + p \cdot x + p^2 + q)$ を計算して、その計算結果をルックアップテーブル28に出力する。

ルックアップテーブル28では、部分体元 $b_1 / (x^2 + p \cdot x + p^2 + q)$ の立方根 $q$ を部分体乗算回路29と基底逆変換回路30に出力する。

部分体乗算回路29では、部分体加算回路25が出力する根 $x$ と立方根 $q$ を乗算して $x \cdot q$ を生成し、その $x \cdot q$ を基底逆変換回路30に出力する。

基底逆変換回路30では $B$ の立方根を部分体の元に分割して $q \cdot \beta + x \cdot q$ の形で生成し、もとの基底に戻して $B$ の立方根 $B^{1/3}$ を出力端子に出力する。

次に正規化3次方程式解法回路62(正規化3次方程式 $x^3 + r \cdot x + s = 0$ の解法回路)について説明する。

第16図は正規化3次方程式解法回路62を示す構成図であり、図に

において、4 1 はガロア体 3 乗回路、4 2 は 2 次方程式解法回路、4 3 は立方根算出回路、4 4 はガロア体係数乗算回路、4 5, 4 6 は変換回路、4 7 はガロア体加算回路である。

第 1 7 図は変換回路 4 5, 4 6 を示す構成図であり、図において、5 1 はガロア体逆元回路、5 2 はガロア体乗算回路、5 3 はガロア体加算回路である。

最初に、第 1 7 図の変換回路 4 5, 4 6 について説明する。

入力端子から入力されたガロア体元  $x$  は、ガロア体逆元回路 5 1 及びガロア体加算回路 5 3 に入力される。また、正規化 3 次方程式の 1 次の係数  $r$  がガロア体乗算回路 5 2 に入力される。

ガロア体逆元回路 5 1 では  $x$  の逆元、即ち、 $1/x$  を生成してガロア体乗算回路 5 2 に出力する。

ガロア体乗算回路 5 2 では、 $1/x$  と  $r$  より  $r/x$  を生成し、その  $r/x$  をガロア体加算回路 5 3 に出力する。

ガロア体加算回路 5 3 では、 $x$  と  $r/x$  を加算して  $x + r/x$  を出力端子に出力する。

次に第 1 6 図の正規化 3 次方程式解法回路 6 2 の動作について説明する。

まず、入力端子に正規化 3 次方程式の係数  $r, s$  が入力される。

ガロア体 3 乗回路 4 1 では  $r$  を入力すると、その  $r$  を 3 乗して  $r^3$  を生成して 2 次方程式解法回路 4 2 に出力する。

2 次方程式解法回路 4 2 では  $s$  と  $r^3$  を入力すると、2 次方程式  $x^2 + s \cdot x + r^3 = 0$  の 1 根  $x$  を算出する。

立方根算出回路 4 3 では、2 次方程式解法回路 4 2 により算出された根  $x$  の立方根  $\beta$  を算出し、その立方根  $\beta$  をガロア体係数乗算回路 4 4 と変換回路 4 5 に出力する。

ガロア体係数乗算回路 4 4 では、立方根  $\beta$  に 1 の 3 乗根  $\omega$  を乗算し、 $\beta \cdot \omega$  を変換回路 4 6 に出力する。

変換回路 4 5, 4 6 では、式 (3 3) の 2 根を計算して出力端子に出力する。また、その算出された 2 根がガロア体加算回路 4 7 に入力されて第 3 の根が出力端子に出力される。

第 1 8 図は誤り位置多項式解法回路 4 (誤り位置多項式  $x^3 + \sigma 1 \cdot x^2 + \sigma 2 \cdot x + \sigma 3 = 0$  の解法回路) を示す構成図であり、図において、6 1 は変換回路、6 2 は正規化 3 次方程式解法回路、6 3 ~ 6 5 はガロア体加算回路である。

次に動作について説明する。

誤り位置多項式生成回路 3 により生成された 3 次の誤り位置多項式の係数  $\sigma 1$ ,  $\sigma 2$ ,  $\sigma 3$  が変換回路 6 1 に入力される。また、係数  $\sigma 1$  はガロア体加算回路 6 3 ~ 6 5 にも入力される。

変換回路 6 1 では式 (6) の正規化 3 次方程式の係数  $p$ ,  $q$  を計算し、その係数  $p$ ,  $q$  を正規化 3 次方程式解法回路 6 2 に出力する。

正規化 3 次方程式解法回路 6 2 では  $y^3 + p \cdot y + q = 0$  の 3 根  $y 1$ ,  $y 2$ ,  $y 3$  を計算し、その 3 根  $y 1$ ,  $y 2$ ,  $y 3$  をガロア体加算回路 6 3 ~ 6 5 に出力する。

ガロア体加算回路 6 3 では  $y 1$  に  $\sigma 1$  を加算して  $x 1$  を出力し、ガロア体加算回路 6 4 では  $y 2$  に  $\sigma 1$  を加算して  $x 2$  を出力し、ガロア体加算回路 6 5 では  $y 3$  に  $\sigma 1$  を加算して  $x 3$  を出力する。

誤り位置多項式解法回路 4 において算出された根  $x 1$ ,  $x 2$ ,  $x 3$  は、誤り位置テーブル 5 に入力される。

誤り位置テーブル 5 にはガロア体の元の指数が格納されている。ガロア体の元の指数は誤り位置に対応するため、その算出された誤り位置多項式の根 (ガロア体の元) によりテーブルを参照して誤り位置を特定す

る。

訂正回路 7 では遅延回路 6 に記憶されている受信語の誤りを訂正し、復号結果を出力する。

この実施の形態 4 における 3 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正装置は、以上のように構成されるので、誤り位置多項式解法回路 4 の正規化 3 次方程式解法回路 6 2 を構成する 2 次方程式解法回路 4 2 がガロア体の演算回路と簡単な組合せ回路により構成され、また、立方根算出回路 4 3 も部分体の演算回路と部分体上のより小さいテーブルで構成されるため、回路規模を削減することができる。また、誤りビット数で場合分けせずに同一のシーケンスで処理するため装置の制御が簡素化される効果がある。

#### 実施の形態 5 .

4 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正装置も上記実施の形態 4 で説明した 3 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正装置と同様に構成することができる。4 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正装置の全体構成図も第 12 図と同様である。以下、第 12 図を用いて本装置の動作について説明する。

次に動作について説明する。

シンδροーム生成回路 1 では入力される受信語からシンδροーム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  ,  $S_7$  を計算して、シンδροーム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  ,  $S_7$  を誤りビット数推定回路 2 に出力する。

誤りビット数推定回路 2 ではシンδροーム生成回路 1 により計算されたシンδροーム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  ,  $S_7$  より受信語に発生した誤りビット数を推定する。シンδροーム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  ,  $S_7$  のすべてが “0” ならば誤りなしと推定し、復号処理を終了する。シンδροーム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  ,  $S_7$  のすべてが “0” ではない場合は、 $V = S_1 (S_1^5$



$+S5) + S3(S1^3 + S3)$  を計算し、 $V$  が “0” ならば 2 ビット以下の誤りであると推定し、 $V$  が “0” でない場合は 3 ビット以上の誤りであると推定する。

誤りビット数推定回路 2 により誤りが検出された場合は、誤り位置多項式生成回路 3 が誤り位置多項式を生成する。即ち、2 ビット以下の誤りを検出した場合には、式 (42) の誤り位置多項式の係数  $\sigma 1$ ,  $\sigma 2$  を生成し、3 ビット以上の誤りを検出した場合には、式 (43) の誤り位置多項式の係数  $\sigma 1$ ,  $\sigma 2$ ,  $\sigma 3$ ,  $\sigma 4$  を生成する。また、2 ビット以下の誤りの場合は、 $\sigma 3 = 0$ ,  $\sigma 4 = 0$  とし、4 次の多項式として処理する。

誤り位置多項式生成回路 3 により生成された 4 次の誤り位置多項式は誤り位置多項式解法回路 4 に入力される。

第 19 図は誤り位置多項式解法回路 4 を示す構成図であり、図において、71 は 4 次方程式解法回路、72 は 2 次方程式解法回路、73 は選択回路である。

第 20 図は 4 次方程式解法回路 71 を示す構成図であり、図において、81 は係数変換回路、82, 83, 85 はガロア体除算回路、84 は正規化 3 次方程式解法回路、86, 89, 90 は 2 次方程式解法回路、87, 88 はガロア体乗算回路、91 ~ 94 はガロア体加算回路である。

第 19 図の誤り位置多項式解法回路 4 の動作を説明する前に、第 20 図の 4 次方程式解法回路 71 の動作について説明する。

入力端子に入力される係数  $\sigma 1$ ,  $\sigma 2$ ,  $\sigma 3$ ,  $\sigma 4$  は、係数変換回路 81 により式 (44) において定義される係数  $p$ ,  $q$ ,  $r$  と  $c$  に変換される。 $c$  はガロア体加算回路 91 ~ 94 に入力される。 $p$  はガロア体除算回路 82, 85 に入力され、 $q$  はガロア体除算回路 83 に入力され、

$r$  は 2 次方程式解法回路 8 6 及びガロア体除算回路 8 2, 8 3 に入力される。

ガロア体除算回路 8 2 では  $p/r$  を計算して正規化 3 次方程式解法回路 8 4 に出力し、ガロア体除算回路 8 3 では  $q/r$  を計算して正規化 3 次方程式解法回路 8 4 に出力する。

正規化 3 次方程式解法回路 8 4 では式 (49) の正規化 3 次方程式の 1 根  $\lambda$  を算出し、その  $\lambda$  をガロア体除算回路 8 5 及びガロア体乗算回路 8 7, 8 8 に出力する。

ガロア体除算回路 8 5 では  $p/\lambda$  を計算して 2 次方程式解法回路 8 6 に出力する。

2 次方程式解法回路 8 6 では式 (50) の 2 次方程式の 2 根  $q_1, q_2$  を算出する。 $q_1$  はガロア体乗算回路 8 7 と 2 次方程式解法回路 8 9 に入力され、 $q_2$  はガロア体乗算回路 8 8 と 2 次方程式解法回路 9 0 に入力される。

ガロア体乗算回路 8 7 では  $p_1 = \lambda \cdot q_1$  を計算して 2 次方程式解法回路 8 9 に出力する。

また、ガロア体乗算回路 8 8 では  $p_2 = \lambda \cdot q_2$  を計算して 2 次方程式解法回路 9 0 に出力する。

2 次方程式解法回路 8 9 では式 (51) の 2 次方程式の 2 根  $y_1, y_2$  を算出し、 $y_1, y_2$  をガロア体加算回路 9 1, 9 2 に出力する。

また、2 次方程式解法回路 9 0 では式 (52) の 2 次方程式の 2 根  $y_3, y_4$  を算出し、 $y_3, y_4$  をガロア体加算回路 9 3, 9 4 に出力する。

ガロア体加算回路 9 1 ~ 9 4 では、 $y_1, y_2, y_3, y_4$  にそれぞれ  $c$  を加算して、式 (43) の 4 次多項式の根  $x_1, x_2, x_3, x_4$  を出力する。

次に第19図の誤り位置多項式解法回路4の動作について説明する。

入力端子に入力される係数 $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$ は4次方程式解法回路71に入力され、また、係数 $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ は2次方程式解法回路72に入力される。

4次方程式解法回路71では式(43)に示す4次の誤り位置多項式の4根 $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ を算出し、 $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ を選択回路73に出力する。

2次方程式解法回路72では式(42)に示す2次の誤り位置多項式の2根 $z_1$ ,  $z_2$ を算出し、 $z_1$ ,  $z_2$ を選択回路73に出力する。

選択回路73では3ビット以上の誤りの場合は、 $x_1 = y_1$ ,  $x_2 = y_2$ ,  $x_3 = y_3$ ,  $x_4 = y_4$ として出力し、2ビット以下の誤りの場合は、 $x_1 = z_1$ ,  $x_2 = z_2$ ,  $x_3 = 0$ ,  $x_4 = 0$ として出力する。

誤り位置多項式解法回路4により算出された根は、誤り位置テーブル5に入力される。上記実施の形態4と同様に、その算出された誤り位置多項式の根(ガロア体の元)によりテーブルを参照して誤り位置を特定する。

訂正回路7では、遅延回路6に記憶されている受信語の誤りを訂正し、復号結果を出力する。

以上のように、4ビット訂正BCH符号の誤り訂正装置は以上のように構成されるので、テーブルサイズを小型化して記憶容量を少なくすることができる効果がある。また、誤り位置多項式は2次多項式と4次多項式の2種類なので、装置の制御が簡素化される効果がある。

実施の形態6.

上記実施の形態4, 5の誤り訂正装置では、誤り位置多項式の根をキーとして、誤り位置テーブルを参照して誤り位置を特定するものについ

て示したが、以下に示す構成により誤り位置を特定することも可能である。

第 2 1 図はこの発明の実施の形態 6 による誤り訂正装置を示す構成図であり、図において、第 1 2 図と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。8 は誤り位置検出回路である。

第 2 2 図は誤り位置検出回路 8 を示す構成図であり、図において、1 0 1 はカウンタ、1 0 2 はガロア体の元を記憶する記憶回路、1 0 3 はガロア体係数乗算回路、1 0 4 は比較回路、1 0 5 は整数加算回路である。

次に動作について説明する。

誤り位置検出回路 8 以外の動作は、上記実施の形態 4, 5 と同様であるので、誤り位置検出回路 8 の動作を説明する。

誤り位置多項式解法回路 4 により算出された誤り位置多項式の根（ガロア体の元）は、誤り位置検出回路 8 に入力される。

まず、入力されたガロア体元は記憶回路 1 0 2 に入力されて記憶される。カウンタ 1 0 1 は動作開始前に初期値 0 が格納され、1 クロック毎に 8 ずつカウントアップされる。

記憶回路 1 0 2 に記憶されたガロア体元は、比較回路 1 0 4 及びガロア体係数乗算回路 1 0 3 に入力される。

比較回路 1 0 4 では、入力されたガロア体元がガロア体元  $\{\alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \alpha^3, \alpha^4, \alpha^5, \alpha^6, \alpha^7\}$  のいずれかに等しいか否かについて比較し、 $\alpha^k$  に等しい場合は整数加算回路 1 0 5 に  $k$  を出力する。

ガロア体係数乗算回路 1 0 3 では、記憶回路 1 0 2 に記憶されているガロア体元に  $\alpha^{-8}$  を乗じて記憶回路 1 0 2 に出力する。

整数加算回路 1 0 5 では、比較回路 1 0 4 からの入力値とカウンタ 1 0 1 からの入力値を加算して誤り位置を出力する。

誤り位置多項式の“0”でない根が複数ある場合は、1根ずつ以上の処理を実行すればよい。

この実施の形態6の誤り訂正装置は以上のように構成されているので、誤り位置を検出するための誤り位置テーブルが不要となり、さらに回路規模を削減することができる。なお、第22図に示す誤り位置検出回路8を2個以上並列に配置することにより高速化することができる。例えば、3ビット訂正BCH符号では3個、4ビット訂正BCH符号では4個並列配置すれば、待ち処理をなくすことができる。

なお、上記実施の形態4～6では、誤り訂正装置をハードウェアで構成するものについて示したが、コンピュータである誤り訂正装置が実行可能なソフトウェア（誤り訂正プログラム）を作成し、そのコンピュータが読み取り可能な記録媒体に誤り訂正プログラムを記録するようにしてもよい。

#### 実施の形態7.

上記実施の形態1～6では、受信語からシンδροーム $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_5$ を計算するものについて示したが、ガロア体の部分体四則演算を実施して受信語からシンδροームを計算するようにしてもよい。

以下、3ビット訂正BCH符号の誤り訂正方法について具体的に説明する。BCH符号の復号ではガロア体の演算が必要である。この実施の形態7では、ガロア体 $GF(2^{2m})$ の四則演算をその部分体 $GF(2^m)$ の四則演算に帰着して行う。以下ではガロア体 $GF(2^{2m})$ を $K$ 、部分体 $GF(2^m)$ を $L$ と略記する。ガロア体 $K$ の原始元を $\alpha$ とし、部分体 $L$ の生成元を $\gamma$ とする。ただし、 $\gamma = \alpha^1$ （ $1$ は整数）なる関係を満たすものとする。ガロア体 $K$ の部分体 $L$ 上の基底を $\{1, \beta\}$ とする。ここで $\beta$ は $L$ に属さない $K$ の元で、 $\beta^2 + p\beta + q = 0$ （ $p, q$ は $L$ の元）を

満たすものとする。一般に  $K$  の元  $X$  は、 $L$  の元  $x_1, x_0$  を用いて、 $X = x_1 \beta + x_0$  と表される。本明細書ではこれを  $(x_1, x_0)$  と表す。

上述の部分体  $L$  の演算は、多項式基底や正規基底、あるいは、指数表現で行えばよい。ここでは、指数表現を用いた場合の演算方法について説明する。

部分体  $L$  を指数表現で表すと、部分体  $L$  の元  $\gamma^i$  は指数  $i$  で表される ( $i = 0, 1, \dots, 2^m - 2$ )。この場合、 $L$  の 2 元の積  $\gamma^i \cdot \gamma^j$  は  $i + j \pmod{2^m - 1}$  で計算される。また、除算  $\gamma^i / \gamma^j$  は  $i - j \pmod{2^m - 1}$  により計算される。一方、加算はゼフ対数を用いて計算される。ここでゼフ対数とは  $1 + \gamma^j = \gamma^{Z[j]}$  を満たす対数  $Z[*]$  のことである。この対数を用いると  $\gamma^i + \gamma^j = \gamma^i (1 + \gamma^{j-i}) = \gamma^{i+Z[j-i]}$  より、加算  $\gamma^i + \gamma^j$  は  $i + Z[j-i] \pmod{2^m - 1}$  により計算される。

次にガロア体  $K = GF(2^{2m})$  の演算方法について説明する。

$K$  の 2 元  $X = (x_1, x_0)$ ,  $Y = (y_1, y_0)$  ( $x_0, x_1, y_0, y_1$  は部分体  $L$  の元) の加算  $X + Y$  は下式で計算される。

$$X + Y = (x_1 + y_1, x_0 + y_0) \quad (61)$$

次に  $X$  と  $Y$  の積  $X \cdot Y$  は下式で計算される。

$$X \cdot Y = (x_1 \cdot y_0 + x_0 \cdot y_1 + p \cdot x_1 \cdot y_1, x_0 \cdot y_0 + q \cdot x_1 \cdot y_1) \quad (62)$$

また、 $X$  の逆元  $X^{-1}$  は下式で計算される。

$$X^{-1} = (x_1 \cdot w^{-1}, (x_0 + x_1) \cdot w^{-1}) \quad (63)$$

$$w = x_0 \cdot (x_0 + x_1) + q \cdot x_1^2$$

なお、除算  $X / Y$  は逆元と乗算の組み合わせで計算できる。

上述のガロア体  $K$  の乗算及び逆元の計算方法を図を用いて説明する。

以下の説明では  $p = 1$  とする。第 27 図はガロア体  $K$  の 2 元  $X = (x_1, x_0)$ ,  $Y = (y_1, y_0)$  の積  $X \cdot Y$  を計算するフローチャートであり、式 (62) の計算を部分体の加算、乗算、定数乗算に分割して行っている。計算では部分体  $L$  の元を格納する変数  $z_0, z_1, z_2$  を使用する。

まず、ステップ ST 221 において、ガロア体  $K$  の 2 元  $X = (x_1, x_0)$ ,  $Y = (y_1, y_0)$  を設定する。

ステップ ST 222 では、 $x_1 \cdot y_1$  を  $z_0$  に代入し、 $x_1 + x_0$  を  $z_1$  に代入し、 $y_1 + y_0$  を  $z_2$  に代入する。

ステップ ST 223 では、 $z_0$  と定数  $q$  の乗算 ( $z_0 \cdot q$ ) を  $z_0$  に代入し、 $z_1 \cdot z_2$  を  $z_1$  に代入する。このとき  $z_1$  の内容は  $x_0 \cdot y_0 + x_0 \cdot y_1 + x_1 \cdot y_0 + x_1 \cdot y_1$  である。

ステップ ST 224 では、 $x_0 \cdot y_0$  を  $z_2$  に代入する。

ステップ ST 225 では、 $z_2$  を  $z_0$  及び  $z_1$  に加算し、 $z_1$  には式 (62) の括弧内の左成分が、 $z_0$  には右成分が代入される。

最後のステップ ST 226 では、積  $X \cdot Y = (z_1, z_0)$  を出力する。

第 28 図はガロア体  $K$  の元  $X = (x_1, x_0)$  の逆元  $X^{-1}$  を計算するフローチャートであり、式 (63) の計算を部分体の加算、乗算、定数乗算及び除算に分割して行っている。計算では部分体  $L$  の元を格納する変数  $z_0, z_1, z_2$  を使用する。

まず、ステップ ST 231 において、ガロア体  $K$  の元  $X = (x_1, x_0)$  を設定する。

ステップ ST 232 では、 $x_1 + x_0$  を  $z_0$  及び  $z_1$  に代入し、 $x_1 \cdot x_1$  を  $z_2$  に代入する。

ステップ ST 233 では、 $z_2$  と定数  $q$  の乗算 ( $z_2 \cdot q$ ) を  $z_2$  に

代入し、 $x_0 \cdot z_1$ を $z_1$ に代入する。

ステップST234では、 $z_1 + z_2$ を $z_2$ に代入する。

ステップST235では、 $z_0 / z_2$ を $z_0$ に代入し、 $x_1 / z_2$ を $z_1$ に代入する。このとき $z_1$ には式(63)の括弧内の左成分が格納され、 $z_0$ には右成分が格納されている。

最後のステップST236では、逆元 $X^{-1} = (z_1, z_0)$ を出力する。

第23図は3ビット訂正BCH符号の誤り訂正方法のフローチャートであり、ST201はガロア体の部分体四則演算を実施して受信語からシンドロームを計算するステップ、ST202は誤りがあるか否かを判定するステップ、ST203は誤りなしの場合の終了ステップ、ST204は1ビット誤りであるか否かを判定するステップ、ST205は1ビット誤りの場合、誤り位置多項式の根を計算するステップ、ST206は3次の誤り位置多項式を計算するステップ、ST207は3次の誤り位置多項式の3根を計算するステップ、ST208は誤り位置多項式の根から誤りビットの位置を計算するステップ、ST209は誤りビットを訂正するステップである。

次に第23図の動作について符号長 $n$ の3ビット訂正BCH符号を用いて詳細に説明する。

ステップST201では、受信語からシンドローム $S_1, S_3, S_5$ を計算する。

受信ビット $(r_{n-1}, r_{n-2}, \dots, r_1, r_0)$ を下式に示す多項式で表すと、シンドロームは受信語多項式から $S_1 = R(\alpha)$ 、 $S_3 = R(\alpha^3)$ 、 $S_5 = R(\alpha^5)$ と計算される。ただし、 $\alpha$ はガロア体 $K$ の原始元である。

$$R(x) = r_{n-1}x^{n-1} + r_{n-2}x^{n-2} + \dots + r_2x^2 + r_1x + r_0$$



( 6 4 )

シンドローム  $S_1$  ,  $S_3$  ,  $S_5$  は、上述したガロア体の演算を用いて計算することができる。第 2 4 図はシンドローム  $S_1$  の計算方法を示すフローチャートである。図中の  $(a_1, a_0)$  はガロア体  $K$  の原始元  $\alpha$  の部分体表現である。図において、 $ST_{211}$  は初期値設定ステップであり、 $x_0$  と  $x_1$  は部分体  $L$  の元を格納する変数、 $k$  は整数を格納する変数である。 $ST_{212}$  は受信ビットを処理するステップ、 $ST_{213}$  は条件を判断するステップ、 $ST_{214}$  は変数を更新するステップ、 $ST_{215}$  はシンドローム  $S_1$  を格納するステップである。

次に図の動作について説明する。

まず、ステップ  $ST_{211}$  において、 $x_0$  と  $x_1$  に “0” を設定する。ここで “0” は部分体の零元である。また、 $n-1$  (符号長-1) を変数  $k$  に設定する。

ステップ  $ST_{212}$  では、変数  $x_0$  と受信ビット  $r_k$  を加算し、 $x_0 + r_k$  を変数  $x_0$  に格納する。なお、受信ビット “0” および “1” は部分体の零元 “0” および単位元 “1” として処理する。

ステップ  $ST_{213}$  では、 $k$  が “0” であるか否かをチェックし、真であればステップ  $ST_{215}$  に進み、偽であればステップ  $ST_{214}$  に進む。

ステップ  $ST_{214}$  では、 $\alpha = (a_1, a_0)$  と  $(x_1, x_0)$  の乗算  $(a_1, a_0) \cdot (x_1, x_0)$  を変数の組  $(x_1, x_0)$  に代入する。ここで、積  $(a_1, a_0) \cdot (x_1, x_0)$  は、式 (6 2) にしたがって計算される。また、 $k$  がデクリメントされてステップ  $ST_{212}$  に戻る。

ステップ  $ST_{215}$  では、 $(x_1, x_0)$  をシンドローム  $S_1$  に代入して処理を終了する。

第24図のフローチャートによりシンドローム  $S_1 = R(\alpha)$  が計算されるが、シンドローム  $S_3$ 、 $S_5$  も  $S_1$  と同様に計算される。ただし、シンドローム  $S_3$  の計算では、図中の  $\alpha = (a_1, a_0)$  の代わりに  $\alpha^3 = (b_1, b_0)$  とし、シンドローム  $S_5$  の計算では  $\alpha^5 = (c_1, c_0)$  とする。ただし、 $b_0$ 、 $b_1$ 、 $c_0$ 、 $c_1$  は適当な部分体  $L$  の元である。

ステップ  $ST201$  で計算されたシンドローム  $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_5$  を  $S_1 = (x_1, x_0)$ 、 $S_3 = (y_1, y_0)$ 、 $S_5 = (z_1, z_0)$  とする。

ステップ  $ST202$  において、シンドローム  $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_5$  のすべてが“0”ならば、即ち、 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $y_0$ 、 $y_1$ 、 $z_0$ 、 $z_1$  のすべてが“0”ならば誤りなしと推定し、復号処理を終了する（ステップ  $ST203$ ）。そうでない場合は、ステップ  $ST204$  において、 $T = S_1^3 + S_3 = (x_1, x_0)^3 + (y_1, y_0)$  を計算し、 $T$  が“0”ならば1ビット誤りであると推定し、ステップ  $ST205$  に進む。

ステップ  $ST205$  では、 $S_1 = (x_1, x_0)$  を誤り位置多項式  $X + S_1$  の根  $X$  に設定し、ステップ  $ST208$  に進む。

$T$  が“0”でない場合は、下式に示す3次の誤り位置多項式の係数  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  をシンドローム  $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_5$  から計算する（ステップ  $ST206$ ）。なお、下式の係数  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  も部分体  $L$  の演算を利用して計算する。

$$x^3 + \sigma_1 \cdot x^2 + \sigma_2 \cdot x + \sigma_3 = 0 \quad (65)$$

$$\sigma_1 = S_1$$

$$\sigma_2 = S_1^2 + (S_1^5 + S_5) / (S_1^3 + S_3)$$

$$\sigma_3 = S_3 + S_1 \cdot (S_1^5 + S_5) / (S_1^3 + S_3)$$

$X = Y + \sigma_1$  とおくと、式 (65) は式 (66) のように正規化され

た 3 次方程式に変形される。

$$Y^3 + A \cdot Y + B = 0, \quad A = \sigma 1^2 + \sigma 2, \quad B = \sigma 1 \cdot \sigma 2 + \sigma 3 \quad (66)$$

式 (66) は  $Y = Z + A/Z$  とおくと下式のように変形される。

$$Z^6 + B \cdot Z^3 + A^3 = 0 \quad (67)$$

式 (67) は  $Z^3$  の 2 次方程式である。以下、ガロア体  $K$  上の 2 次方程式を部分体  $L$  の演算を用いて解く方法について説明する。ガロア体  $K$  上の一般的な 2 次方程式は式 (68) で与えられるが、 $X = C \cdot Y$  とおくと式 (68) は、式 (69) のように正規化された形に変形される。

$$X^2 + C \cdot X + D = 0 \quad (68)$$

$$Y^2 + Y + E = 0 \quad (69)$$

$$E = D / C^2$$

$Y = (y_1, y_0)$ 、 $E = (e_1, e_0)$  とおくと、式 (69) は式 (70)、式 (71) のように変形される。

$$p \cdot y_1^2 + y_1 + e_1 = 0 \quad (70)$$

$$y_0^2 + y_0 + e_0 + q \cdot y_1^2 = 0 \quad (71)$$

式 (70) は  $y_1 = z / p$  とおくと式 (72) のように変形される。

$$z^2 + z + p \cdot e_1 = 0 \quad (72)$$

式 (72) は部分体  $L$  上の正規化された 2 次方程式であり、定数項に対して根を格納したテーブルを参照すれば 1 根  $z$  が求まる。これから式 (70) の 1 根  $y_1 = z / p$  が求まり、式 (69) の定数項  $e_0 + q \cdot y_1^2$  が定まる。この定数項に対して再度上記テーブルを参照して、式 (71) の正規化 2 次方程式の 1 根  $y_0$  が求まる。以上の手順により式 (69) の 1 根  $Y = (y_1, y_0)$  が求まる。式 (69) のもう 1 つの根は  $Y + 1 = (y_1, y_0 + 1)$  であり、式 (68) の 2 根は  $X = C \cdot Y$ 、 $C \cdot Y + C$  により計算される。

上述した 2 次方程式の解法を用いて式 (67) の 1 根  $Z^3 = C$  を計算することができる。上記実施の形態 1 で述べた方法を用いて  $C$  の立方根を計算すれば、式 (67) の根  $Z = C^{1/3}$ ,  $C^{1/3} \Omega$ ,  $C^{1/3} \Omega^2$  が計算される。ただし、 $\Omega$  はガロア体  $K$  の単位元の立方根である。これから  $Y = Z + A/Z$  により式 (66) の 3 根  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  が計算される。

$$Y_1 = C^{1/3} + A / C^{1/3}$$

$$Y_2 = C^{1/3} \cdot \Omega + A / (C^{1/3} \cdot \Omega)$$

$$Y_3 = C^{1/3} \cdot \Omega^2 + A / (C^{1/3} \cdot \Omega^2) = Y_1 + Y_2$$

(73)

さらに、 $X = Y + \sigma_1$  により式 (65) の 3 根  $X_1 = Y_1 + \sigma_1$ ,  $X_2 = Y_2 + \sigma_1$ ,  $X_3 = Y_3 + \sigma_1$  が計算される。

ステップ 208 では、誤り位置多項式の根  $X = (x_1, x_0)$  (ガロア体  $K$  の元) から誤っているビットの位置を計算する。誤り位置多項式の根  $X$  を  $K$  の原始元  $\alpha$  を用いて  $X = \alpha^i$  と表した時、 $i$  が誤りビットの位置に対応する。以下、この誤りビットの位置  $i$  の計算方法について説明する。

$x_0$  と  $x_1$  は部分体  $L$  の元であるので、部分体  $L$  の生成元  $\gamma$  を用いて  $x_0 = \gamma^{j_0}$ ,  $x_1 = \gamma^{j_1}$  と表される。ここで  $j_0$  と  $j_1$  は適当な整数である。このとき、 $X$  は式 (74) のように変形される。

$$X = \gamma^{j_1} \beta + \gamma^{j_0} = \gamma^{j_1} (\beta + \gamma^{j_0 - j_1}) \quad (74)$$

ここで、式 (75) の関係を満たすテーブル  $T[*]$  を用意する。

$$\alpha^{T[j]} = \beta + \gamma^j \quad (75)$$

式 (75) のテーブル  $T[*]$  を用いると、式 (74) は下式のように変形される。

$$X = \gamma^{j_1} \alpha^{T[j_0 - j_1]} = \alpha^{1 \times j_1 + T[j_0 - j_1]} \quad (76)$$

ただし、 $\gamma = \alpha^1$  の関係を用いている。式 (76) から誤りビットの位置  $i = 1 \times j_1 + T[j_0 - j_1]$  が求まる。

なお、誤り位置多項式の根に 0 が含まれる場合は、対応する誤り位置は存在しないので、誤り位置の計算は行わない (2 ビット誤りである場合、3 次の誤り位置多項式は 0 を根に持つ。 ) 。

ステップ S T 2 0 9 では、ステップ S T 2 0 8 で計算された誤り位置  $i$  のビットを反転し誤りを訂正する。

このように、この実施の形態 7 によれば、誤り位置多項式を直接解くことにより高速に誤りビットの位置を計算し、その誤りを訂正することができる。また、ガロア体  $K$  の演算はすべて部分体  $L$  の演算のみで計算されるので演算テーブルの削減が可能である。上の例では部分体  $L$  の指数表現による演算を考えたが、拡大体  $K$  のゼフ対数の記憶容量は  $2^{2m}$  ワード  $\times$   $2m$  ビットであるのに対し、部分体  $L$  のゼフ対数テーブルの記憶容量は  $2^m$  ワード  $\times$   $m$  ビットであり、上述の部分体を用いた演算方法によれば著しい記憶容量の削減が可能である。なお、部分体  $L$  の表現は指数表現に限らず、ベクトル表現や正規基底、双対基底などを用いてもよい。

また、この実施の形態 7 では、3 ビット訂正 BCH 符号を用いるものについて示したが、1 ビット訂正 BCH 符号 (ハミング符号または拡大ハミング符号) や 2 ビット訂正 BCH 符号、さらには 4 ビット以上の訂正能力を有する BCH 符号に適用することも可能である。

#### 実施の形態 8 .

上記実施の形態 7 で説明した誤り訂正方法はソフトウェアで実現することができる。

第 25 図は 1 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正装置を示す構成図であ

り、201は受信語の入出力を制御する入出力インタフェース（以下、I/Oと称する）、202は受信語及び復号のための変数を格納するメモリ（以下、RAMと称する）、203はガロア体の四則演算アルゴリズム及び復号アルゴリズムをコード化したプログラムを格納するメモリ（以下、ROMと称する）、204はROM203からプログラムを読み出し、ガロア体の四則演算アルゴリズム及び復号アルゴリズムを実行するとともに、各ブロックの制御を行うCPU、205は内部バスである。

次に第25図の動作について説明する。

まず、受信語がI/O201を介してRAM202に格納される。

次にCPU204は、ROM203からシンドロームS1の計算プログラムを読み出す。

シンドロームS1の計算プログラムは第24図に示すフローチャートの手順により構成される。まず、シンドロームS1を格納する変数x0とx1がRAM202内に確保され、初期値0が格納される。また、図示されないCPU204内部のカウンタにn-1が設定される（以上は第24図のステップST211に対応）。

次にRAM302に格納された受信ビットを読み出し、図示されないCPU204内部のレジスタに格納する。このレジスタの内容と変数x0を加算して変数x0に格納する（第24図のステップST212に対応）。

次にカウンタの値が“0”であるか否かを判定し、“0”ならば処理を終了する。一方、カウンタの値が“0”でなければカウンタをデクリメントし、また、ROM203からガロア体の部分体を用いた乗算プログラムを読み出して、(a1, a0)と(x1, x0)の乗算(a1, a0)・(x1, x0)を計算する。ここで乗算プログラムは第27図

のフローチャートの手順により構成されるものである。計算された乗算結果を  $(x_1, x_0)$  に格納して第24図のステップST212の処理ルーチンに戻る。以上の処理をカウンタの値が“0”になるまで続ける。

シンドローム  $S_1 = (x_1, x_0)$  の計算が完了すると、誤りがあるか否かを判定する。シンドローム  $S_1$  が“0”ならば、誤りなしと推定し、復号処理を終了する。そうでない場合は誤り位置多項式  $X + S_1$  の根  $X$  として  $S_1 = (x_1, x_0)$  を設定する。

式(75)により定義されるテーブルをROM203に格納しておけば誤り位置多項式の根  $X = (x_1, x_0)$  から上記実施の形態7で述べた方法により誤りビットの位置を計算することができる。計算された誤り位置のビットをRAM202から読み出し、ビットを反転したものをRAM202に戻す。以上の復号プログラムの実行が完了すると、受信語をRAM202よりI/O201を介して外部に出力する。

このように、この実施の形態8では、ガロア体の演算をより小さい部分体の演算系で処理しているので、ROM203の記憶容量を削減することができる。また、誤り位置多項式の根を直接解くことにより高速に誤り位置を計算し、その誤りを訂正することができる。なお、上の説明では1ビット訂正BCH符号を用いるものについて示したが、本誤り訂正装置は1ビット訂正BCH符号に限るものではなく、2ビット以上の訂正能力を有するBCH符号に対しても容易に拡張することができる。

#### 実施の形態9.

上記実施の形態8では、ガロア体の四則演算アルゴリズム及び復号アルゴリズムをコード化したプログラムを予めROM203に格納するものについて示したが、I/O201を介して外部から供給するようにし

てもよい。供給する記憶媒体としては、ROM以外にも、例えば、フロッピーディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、磁気テープ、不揮発性のメモリカードなどを用いることができる。

また、プログラムの実行はシステムのCPUに限らず、その上で稼動しているオペレーティングシステムあるいはアプリケーションソフトであってもよい。

このようにプログラムを記憶する媒体はコンピュータが読み取り可能なものであればどのような形態でもよく、プログラム自体が本発明の一要素となっている。

#### 実施の形態 10.

上記実施の形態 8 では、1 ビット訂正 BCH 符号の誤り訂正装置をソフトウェアで構成したが、そのアルゴリズムの一部またはすべてをハードウェアで実現することも可能である。特にガロア体の演算アルゴリズムをハードウェアで構成すると復号遅延を大幅に短縮できる。

第 26 図はこの実施の形態 10 による誤り訂正装置を示す構成図であり、図において、第 25 図と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。206 は部分体演算系回路から構成されるガロア体演算プロセッサである。

第 29 図はガロア体演算プロセッサ 206 のブロック図である。図において、301 は CPU からの命令をデコードする命令デコーダ、302 ~ 305 は入力されるガロア体  $K$  の 2 元を格納するレジスタ ( $K$  の元は部分体  $L$  の元 2 つで表されるので部分体元を格納するレジスタが 4 つ並んでいる)、306 は部分体の定数  $q$ 、307 ~ 309 は計算の途中結果 (部分体元) を一時保存するレジスタ、310 は部分体の指数表現



による部分体演算回路系である。310A, 310Cは指数を加算する指数加算回路、310Bは指数を減算する指数減算回路、310Dは部分体のゼフ対数テーブルである。311はレジスタ302~305から $x_0, x_1, y_0, y_1, z_0, z_1, z_2$ , 定数 $q$ を入力して部分体演算回路系310に与える入力セレクタ、312は出力セレクタ313の出力に対してレジスタ $z_0, z_1, z_2$ への入力を制御するスイッチ、313は部分体演算回路系310の出力を選択する出力セレクタである。

部分体演算回路系310は、入力セレクタ311の出力 $a$ と $b$ を入力として部分体の指数表現による乗算、除算、加算を行う。

指数加算回路310Aでは $a$ と $b$ が加算され、その出力 $a+b$ が出力セレクタ313に出力される。

指数減算回路310Bでは $a$ から $b$ が減算され、その出力 $a-b$ が部分体ゼフ対数テーブル310D及び出力セレクタ313に出力される。

部分体ゼフ対数テーブル310Dでは入力される $a-b$ に対応するゼフ対数 $Z[a-b]$ を出力し、指数加算回路310Cに入力する。

指数加算回路310Cでは入力される $b$ と部分体ゼフ対数テーブル310Dの出力 $Z[a-b]$ が加算され、その出力 $b+Z[a-b]$ が出力セレクタ313に入力される。

出力セレクタ313の入力 $c, d, e$ は式(77)の通りである。 $c$ が部分体乗算、 $d$ が部分体除算、 $e$ が部分体加算に対応する。

$$c = a + b \pmod{2^m - 1}$$

$$d = a - b \pmod{2^m - 1}$$

$$e = b + Z[a - b] \pmod{2^m - 1}$$

(77)

ガロア体演算プロセッサ206は上位のCPUの命令によりガロア体

Kの加算、乗算および除算を計算する。

まず、ガロア体Kの2元 $X = (x_1, x_0)$ 、 $Y = (y_1, y_0)$ の加算 $X + Y$ について説明する。 $X = (x_1, x_0)$ の $x_0$ がレジスタ302に格納され、 $x_1$ がレジスタ303に格納される。また、 $Y = (y_1, y_0)$ の $y_0$ がレジスタ304に格納され、 $y_1$ がレジスタ305に格納される。

第1段階では、入力セレクタ311において、出力aに $x_0$ が選択され、出力bに $y_0$ が選択される。出力セレクタ313ではeが選択され、また、スイッチ312Aが閉じてレジスタ307に出力セレクタ313の出力eが代入される。他のスイッチ312B、313Cは開いた状態に設定される。

第2段階では、入力セレクタ311において、出力aに $x_1$ が選択され、出力bに $y_1$ が選択される。出力セレクタ313ではeが選択され、また、スイッチ312Bが閉じてレジスタ308に出力セレクタ313の出力eが代入される。他のスイッチ313A、313Cは開いた状態に設定される。この後、レジスタの組 $(z_1, z_0)$ が計算結果として出力される。

次に、2元 $X = (x_1, x_0)$ 、 $Y = (y_1, y_0)$ の乗算 $X \cdot Y$ について説明する。まず、 $X = (x_1, x_0)$ の $x_0$ がレジスタ302に格納され、 $x_1$ がレジスタ303に格納される。また、 $Y = (y_1, y_0)$ の $y_0$ がレジスタ304に格納され、 $y_1$ がレジスタ305に格納される。

第1段階では、入力セレクタ311において、出力aに $x_1$ が選択され、出力bに $y_1$ が選択される。出力セレクタ313ではcが選択され、また、スイッチ312Aが閉じてレジスタ307に出力セレクタ313の出力cが代入される。他のスイッチ312B、312Cは開いた状

態に設定される。

第2段階では、入力セクタ311において、出力aにx0が選択され、出力bにx1が選択される。出力セクタ313ではeが選択され、また、スイッチ312Bが閉じてレジスタ308に出力セクタ313の出力eが代入される。他のスイッチ312A, 312Cは開いた状態に設定される。

第3段階では、入力セクタ311において、出力aにy0が選択され、出力bにy1が選択される。出力セクタ313ではeが選択され、また、スイッチ312Cが閉じてレジスタ309に出力セクタ313の出力eが代入される。他のスイッチ312A, 312Bは開いた状態に設定される。

第4段階では、入力セクタ311において、出力aにz0が選択され、出力bにqが選択される。出力セクタ313ではcが選択され、また、スイッチ312Aが閉じてレジスタ307に出力セクタ313の出力cが代入される。他のスイッチ312B, 312Cは開いた状態に設定される。

第5段階では、入力セクタ311において、出力aにz1が選択され、出力bにz2が選択される。出力セクタ313ではcが選択され、また、スイッチ312Bが閉じてレジスタ308に出力セクタ313の出力cが代入される。他のスイッチ312A, 312Cは開いた状態に設定される。

第6段階では、入力セクタ311において、出力aにx0が選択され、出力bにy0が選択される。出力セクタ313ではcが選択され、また、スイッチ312Cが閉じてレジスタ309に出力セクタ313の出力cが代入される。他のスイッチ312A, 312Bは開いた状態に設定される。

第7段階では、入力セレクタ311において、出力aに $z_0$ が選択され、出力bに $z_2$ が選択される。出力セレクタ313ではeが選択され、また、スイッチ312Aが閉じてレジスタ307に出力セレクタ313の出力eが代入される。他のスイッチ312B, 312Cは開いた状態に設定される。

第8段階では、入力セレクタ311において、出力aに $z_1$ が選択され、出力bに $z_2$ が選択される。出力セレクタ313ではeが選択され、また、スイッチ312Bが閉じてレジスタ308に出力セレクタ313の出力eが代入される。他のスイッチ312A, 312Cは開いた状態に設定される。この後、レジスタの組( $z_1, z_0$ )が計算結果として出力される。

次に、ガロア体の元 $X = (x_1, x_0)$ の逆元 $X^{-1}$ を計算する場合について説明する。まず、 $X = (x_1, x_0)$ の $x_0$ がレジスタ302に格納され、 $x_1$ がレジスタ303に格納される。

第1段階では、入力セレクタ311において、出力aに $x_0$ が選択され、出力bに $x_1$ が選択される。出力セレクタ313ではeが選択され、また、スイッチ312A, 312Bが閉じてレジスタ307, 308に出力セレクタ313の出力eが代入される。スイッチ312Cは開いた状態に設定される。

第2段階では、入力セレクタ311において、出力aに $x_1$ が選択され、出力bに $x_1$ が選択される。出力セレクタ313ではcが選択され、また、スイッチ312Cが閉じてレジスタ309に出力セレクタ313の出力cが代入される。他のスイッチ312A, 312Bは開いた状態に設定される。

第3段階では、入力セレクタ311において、出力aに $x_0$ が選択され、出力bに $z_1$ が選択される。出力セレクタ313ではcが選択され

、また、スイッチ 3 1 2 B が閉じてレジスタ 3 0 8 に出力セクタ 3 1 3 の出力 c が代入される。他のスイッチ 3 1 2 A, 3 1 2 C は開いた状態に設定される。

第 4 段階では、入力セクタ 3 1 1 において、出力 a に q が選択され、出力 b に z 2 が選択される。出力セクタ 3 1 3 では c が選択され、また、スイッチ 3 1 2 C が閉じてレジスタ 3 0 9 に出力セクタ 3 1 3 の出力 c が代入される。他のスイッチ 3 1 2 A, 3 1 2 B は開いた状態に設定される。

第 5 段階では、入力セクタ 3 1 1 において、出力 a に z 1 が選択され、出力 b に z 2 が選択される。出力セクタ 3 1 3 では e が選択され、また、スイッチ 3 1 2 C が閉じてレジスタ 3 0 9 に出力セクタ 3 1 3 の出力 e が代入される。他のスイッチ 3 1 2 A, 3 1 2 B は開いた状態に設定される。

第 6 段階では、入力セクタ 3 1 1 において、出力 a に z 0 が選択され、出力 b に z 2 が選択される。出力セクタ 3 1 3 では d が選択され、また、スイッチ 3 1 2 A が閉じてレジスタ 3 0 7 に出力セクタ 3 1 3 の出力 d が代入される。他のスイッチ 3 1 2 B, 3 1 2 C は開いた状態に設定される。

第 7 段階では、入力セクタ 3 1 1 において、出力 a に x 1 が選択され、出力 b に z 2 が選択される。出力セクタ 3 1 3 では d が選択され、また、スイッチ 3 1 2 B が閉じてレジスタ 3 0 8 に出力セクタ 3 1 3 の出力 d が代入される。他のスイッチ 3 1 2 A, 3 1 2 C は開いた状態に設定される。この後、レジスタの組 (z 1, z 0) が計算結果として出力される。

上述のガロア体演算プロセッサ 2 0 6 により拡大体の四則演算を高速に処理することができる。特に誤り位置多項式の係数や根の計算では多

数の乗除算が必要であるが、本プロセッサにより復号遅延を大幅に削減することが可能である。また、シンドロームも本プロセッサを用いれば高速に計算できる。

このように、この実施の形態 10 の誤り訂正装置はガロア体演算プロセッサ 206 を備えているため高速に復号処理を行うことができる。ガロア体演算プロセッサ 206 は CPU からの命令により拡大体の四則演算をフレキシブルに処理できる。また、本プロセッサは部分体演算回路系 310 で構成されているので、拡大体の演算回路で構成するよりも回路規模が小さくてすむ利点がある。なお、この実施の形態 10 では部分体の表現形式として指数表現を用いたが、ベクトル表現、正規基底、双対基底など他の表現または基底を適用することも可能である。

#### 実施の形態 11.

シンドロームの計算は実施の形態 10 で述べたガロア体演算プロセッサ 206 を用いて計算することもできるが、回路化すると復号時間をさらに短縮することができる。第 30 図はこの実施の形態 11 の誤り訂正装置を示す構成図であり、図において、第 26 図と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。207 はシンドローム生成回路である。

シンドローム生成回路 207 の詳細な構成を示す前に本回路の原理について説明する。第 24 図のフローチャートで説明したようにシンドローム  $S_1$  の計算は、定数  $\alpha = (a_1, a_0)$  と変数  $(x_1, x_0)$  の乗算に受信ビット  $r_k$  を加算した積和形、 $(a_1, a_0) \cdot (x_1, x_0) + (0, r_k)$  が基本となっている。積の部分は式 (62) により  $(a_1 x_0 + a_0 x_1 + a_1 x_1, a_0 x_0 + q a_1 x_1)$  である。ただし、簡単のため  $p = 1$  とする。第 24 図のフローチャートのループを 1

周すると、 $x_1$  には  $(a_1 + a_0) \cdot (x_1 + x_0) + a_0 x_0$  が代入され、 $x_0$  には  $a_0 x_0 + q a_1 x_1 + r_k$  が代入される。ここで  $a_0 = c_0$ 、 $q \cdot a_1 = c_1$ 、 $a_1 + a_0 = c_2$  とおくと、代入式は次のように整理される。

$$x_0 \leftarrow c_0 \cdot x_0 + c_1 \cdot x_1 + r_k$$

$$x_1 \leftarrow c_2 \cdot (x_1 + x_0) + c_0 \cdot x_0$$

(78)

これらの計算は部分体の加算回路および部分体元の  $c_0$  倍回路、 $c_1$  倍回路、 $c_2$  倍回路で実現できる。第31図はシンドローム生成回路207のブロック図であり、図において、401、402は部分体の元を格納するレジスタ、403は $c_0$ 倍回路、404は $c_1$ 倍回路、405は $c_2$ 倍回路、406は受信ビットの入力端子、407～410は部分体加算回路である。

次に図の回路の動作について説明する。

まず、レジスタ401、402には“0”が格納される。ここで“0”は部分体の零元である。受信ビット $r_k$  ( $k=0, 1, \dots, n-1$ ) は1周期に1ビットずつ、 $k=n-1$ から大きい順に入力端子406に入力される。以下では $k+1$ まで受信ビットが入力されたものとして説明する。

レジスタ401の内容( $x_0$ とする)は、 $c_0$ 倍回路403及び部分体加算回路410に入力される。また、レジスタ402の内容( $x_1$ とする)は、 $c_1$ 倍回路404及び部分体加算回路410に入力される。

$c_0$ 倍回路403では $x_0$ が $c_0$ 倍されて $c_0 \cdot x_0$ が部分体加算回路407に入力され、 $c_1$ 倍回路404では $x_1$ が $c_1$ 倍されて $c_1 \cdot x_1$ が部分体加算回路407に入力される。また、部分体加算回路410では $x_0$ と $x_1$ が加算されて $x_0 + x_1$ が $c_2$ 倍回路405に入力さ

れる。

部分体加算回路 407 では、入力された部分体元  $c_0 \cdot x_0$  と  $c_1 \cdot x_1$  が加算されて  $c_0 \cdot x_0 + c_1 \cdot x_1$  が部分体加算回路 408 に入力される。また、 $c_2$  倍回路 405 では部分体加算回路 410 の出力  $x_0 + x_1$  が  $c_2$  倍されて  $c_2 \cdot (x_0 + x_1)$  が部分体加算回路 409 に入力される。

部分体加算回路 408 では、 $c_0 \cdot x_0 + c_1 \cdot x_1$  と受信ビット  $r_k$  が加算されて  $c_0 \cdot x_0 + c_1 \cdot x_1 + r_k$  がレジスタ 401 に代入される。また、部分体加算回路 409 では、 $c_2 \cdot (x_0 + x_1)$  と  $c_0 \cdot x_0$  が加算されて  $c_2 \cdot (x_0 + x_1) + c_0 \cdot x_0$  がレジスタ 402 に代入される。これで 1 周期の処理が完了し、式 (78) に示すレジスタ 401, 402 の更新が完了する。全受信ビットの入力が完了するとレジスタ 401 の内容  $x_0$  とレジスタ 402 の内容  $x_1$  がシンδροーム  $S_1 = (x_1, x_0)$  として出力される。

この実施の形態 11 の誤り訂正装置は、このようにシンδροームを計算するための専用回路を備えているので復号時間を大幅に削減することができる。

#### 産業上の利用可能性

以上のように、この発明に係る誤り訂正方法、誤り訂正装置及び誤り訂正プログラムが記録された記録媒体は、ディジタル無線通信やディジタル磁気記録を実施する際、通信データや記録データに発生する誤りを訂正するものに適している。



## 請 求 の 範 囲

1. 受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定ステップと、上記誤りビット数推定ステップにより推定された誤りビット数が2ビット誤り又は3ビット誤りである場合、そのシンδροームから3次の誤り位置多項式を生成する多項式生成ステップと、上記多項式生成ステップにより生成された3次の誤り位置多項式から正規化3次方程式を求めて、その正規化3次方程式の根を計算し、その正規化3次方程式の根から3次の誤り位置多項式の根を計算する多項式解法ステップと、上記多項式解法ステップにより計算された3次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正ステップとを備えた誤り訂正方法。

2. 多項式解法ステップは、正規化3次方程式の根を計算する際、ガロア体上の多項式を部分体上の多項式に変換して、その部分体の立方根を計算し、その部分体の立方根からガロア体の立方根を算出して、正規化3次方程式の根を計算することを特徴とする請求の範囲第1項記載の誤り訂正方法。

3. 訂正ステップは、誤り位置多項式の根から誤り位置を特定する際、その誤り位置多項式の根をガロア体元に代入したのち、そのガロア体元に所定の係数を乗算しながら適切なガロア体元を検索して誤り位置を特定することを特徴とする請求の範囲第1項記載の誤り訂正方法。

4. 受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定ステップと、上記誤りビット数推定ス

テップにより推定された誤りビット数に応じて 2 次の誤り位置多項式又は 4 次の誤り位置多項式を生成する多項式生成ステップと、上記多項式生成ステップにより生成された 2 次の誤り位置多項式の根を計算する 2 次方程式解法ステップと、上記多項式生成ステップにより生成された 4 次の誤り位置多項式の根を計算する 4 次方程式解法ステップと、上記 2 次方程式解法ステップより計算された 2 次の誤り位置多項式の根又は上記 4 次方程式解法ステップより計算された 4 次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正ステップとを備えた誤り訂正方法。

5. 4 次方程式解法ステップは、多項式生成ステップにより生成された 4 次の誤り位置多項式から正規化 3 次方程式を生成して、その正規化 3 次方程式の根を計算する 3 次方程式解法ステップと、上記 3 次方程式解法ステップにより計算された正規化 3 次方程式の根から 2 次方程式を生成して、その 2 次方程式の根を計算する第 1 の 2 次方程式解法ステップと、上記第 1 の 2 次方程式解法ステップにより計算された 2 次方程式の根から 2 組の 2 次方程式を生成して、2 組の 2 次方程式の根を計算する第 2 の 2 次方程式解法ステップと、上記第 2 の 2 次方程式解法ステップにより計算された 2 次方程式の 4 根から上記 4 次の誤り位置多項式の根を特定する根特定ステップとから構成されたことを特徴とする請求の範囲第 4 項記載の誤り訂正方法。

6. 3 次方程式解法ステップは、正規化 3 次方程式の根を計算する際、ガロア体上の多項式を部分体上の多項式に変換して、その部分体の立方根を計算し、その部分体の立方根からガロア体の立方根を算出して、正規化 3 次方程式の根を計算することを特徴とする請求の範囲第 5 項記載

の誤り訂正方法。

7. ガロア体の部分体四則演算を実施して受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定ステップと、上記誤りビット数推定ステップにより推定された誤りビット数に基づいて誤り位置多項式を生成する多項式生成ステップと、上記多項式生成ステップにより生成された誤り位置多項式の根を計算する多項式解法ステップと、上記多項式解法ステップにより計算された誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正ステップとを備えた誤り訂正方法。

8. 誤りビット数推定ステップは、部分体を指数表現することを特徴とする請求の範囲第7項記載の誤り訂正方法。

9. 誤りビット数推定ステップは、部分体をベクトル表現することを特徴とする請求の範囲第7項記載の誤り訂正方法。

10. 誤りビット数推定ステップは、部分体を正規基底で表現することを特徴とする請求の範囲第7項記載の誤り訂正方法。

11. 誤りビット数推定ステップは、部分体を双対基底で表現することを特徴とする請求の範囲第7項記載の誤り訂正方法。

12. 受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定手段と、上記誤りビット数推定手段により推定された誤りビット数が2ビット誤り又は3ビット誤りである

場合、そのシンδροームから 3 次の誤り位置多項式を生成する多項式生成手段と、上記多項式生成手段により生成された 3 次の誤り位置多項式から正規化 3 次方程式を求めて、その正規化 3 次方程式の根を計算し、その正規化 3 次方程式の根から 3 次の誤り位置多項式の根を計算する多項式解法手段と、上記多項式解法手段により計算された 3 次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正手段とを備えた誤り訂正装置。

13. 多項式解法手段は、正規化 3 次方程式の根を計算する際、ガロア体上の多項式を部分体上の多項式に変換して、その部分体の立方根を計算し、その部分体の立方根からガロア体の立方根を算出して、正規化 3 次方程式の根を計算することを特徴とする請求の範囲第 12 項記載の誤り訂正装置。

14. 訂正手段は、誤り位置多項式の根から誤り位置を特定する際、その誤り位置多項式の根をガロア体元に代入したのち、そのガロア体元に所定の係数を乗算しながら適切なガロア体元を検索して誤り位置を特定することを特徴とする請求の範囲第 12 項記載の誤り訂正装置。

15. 誤り位置多項式の根をガロア体元に代入したのち、そのガロア体元に所定の係数を乗算しながら適切なガロア体元を検索して誤り位置を特定する訂正手段を複数個並列に配置することを特徴とする請求の範囲第 12 項記載の誤り訂正装置。

16. 受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定手段と、上記誤りビット数推定手段

により推定された誤りビット数に応じて 2 次の誤り位置多項式又は 4 次の誤り位置多項式を生成する多項式生成手段と、上記多項式生成手段により生成された 2 次の誤り位置多項式の根を計算する 2 次方程式解法手段と、上記多項式生成手段により生成された 4 次の誤り位置多項式の根を計算する 4 次方程式解法手段と、上記 2 次方程式解法手段より計算された 2 次の誤り位置多項式の根又は上記 4 次方程式解法手段より計算された 4 次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正手段とを備えた誤り訂正装置。

17. 4 次方程式解法手段は、多項式生成手段により生成された 4 次の誤り位置多項式から正規化 3 次方程式を生成して、その正規化 3 次方程式の根を計算する 3 次方程式解法手段と、上記 3 次方程式解法手段により計算された正規化 3 次方程式の根から 2 次方程式を生成して、その 2 次方程式の根を計算する第 1 の 2 次方程式解法手段と、上記第 1 の 2 次方程式解法手段により計算された 2 次方程式の根から 2 組の 2 次方程式を生成して、2 組の 2 次方程式の根を計算する第 2 の 2 次方程式解法手段と、上記第 2 の 2 次方程式解法手段により計算された 2 次方程式の 4 根から上記 4 次の誤り位置多項式の根を特定する根特定手段とから構成されたことを特徴とする請求の範囲第 16 項記載の誤り訂正装置。

18. 3 次方程式解法手段は、正規化 3 次方程式の根を計算する際、ガロア体上の多項式を部分体上の多項式に変換して、その部分体の立方根を計算し、その部分体の立方根からガロア体の立方根を算出して、正規化 3 次方程式の根を計算することを特徴とする請求の範囲第 17 項記載の誤り訂正装置。

19. ガロア体の部分体四則演算を実施して受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定手段と、上記誤りビット数推定手段により推定された誤りビット数に基づいて誤り位置多項式を生成する多項式生成手段と、上記多項式生成手段により生成された誤り位置多項式の根を計算する多項式解法手段と、上記多項式解法手段により計算された誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正手段とを備えた誤り訂正装置。

20. 誤りビット数推定手段は、部分体を指数表現することを特徴とする請求の範囲第19項記載の誤り訂正装置。

21. 誤りビット数推定手段は、部分体をベクトル表現することを特徴とする請求の範囲第19項記載の誤り訂正装置。

22. 誤りビット数推定手段は、部分体を正規基底で表現することを特徴とする請求の範囲第19項記載の誤り訂正装置。

23. 誤りビット数推定手段は、部分体を双対基底で表現することを特徴とする請求の範囲第19項記載の誤り訂正装置。

24. 受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定処理と、その誤りビット数が2ビット誤り又は3ビット誤りである場合、そのシンδροームから3次の誤り位置多項式を生成する多項式生成処理と、その3次の誤り位置多項式から正規化3次方程式を求めて、その正規化3次方程式の根を計算し、そ

の正規化 3 次方程式の根から 3 次の誤り位置多項式の根を計算する多項式解法処理と、その 3 次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正処理とを備えた誤り訂正プログラムが記録された記録媒体。

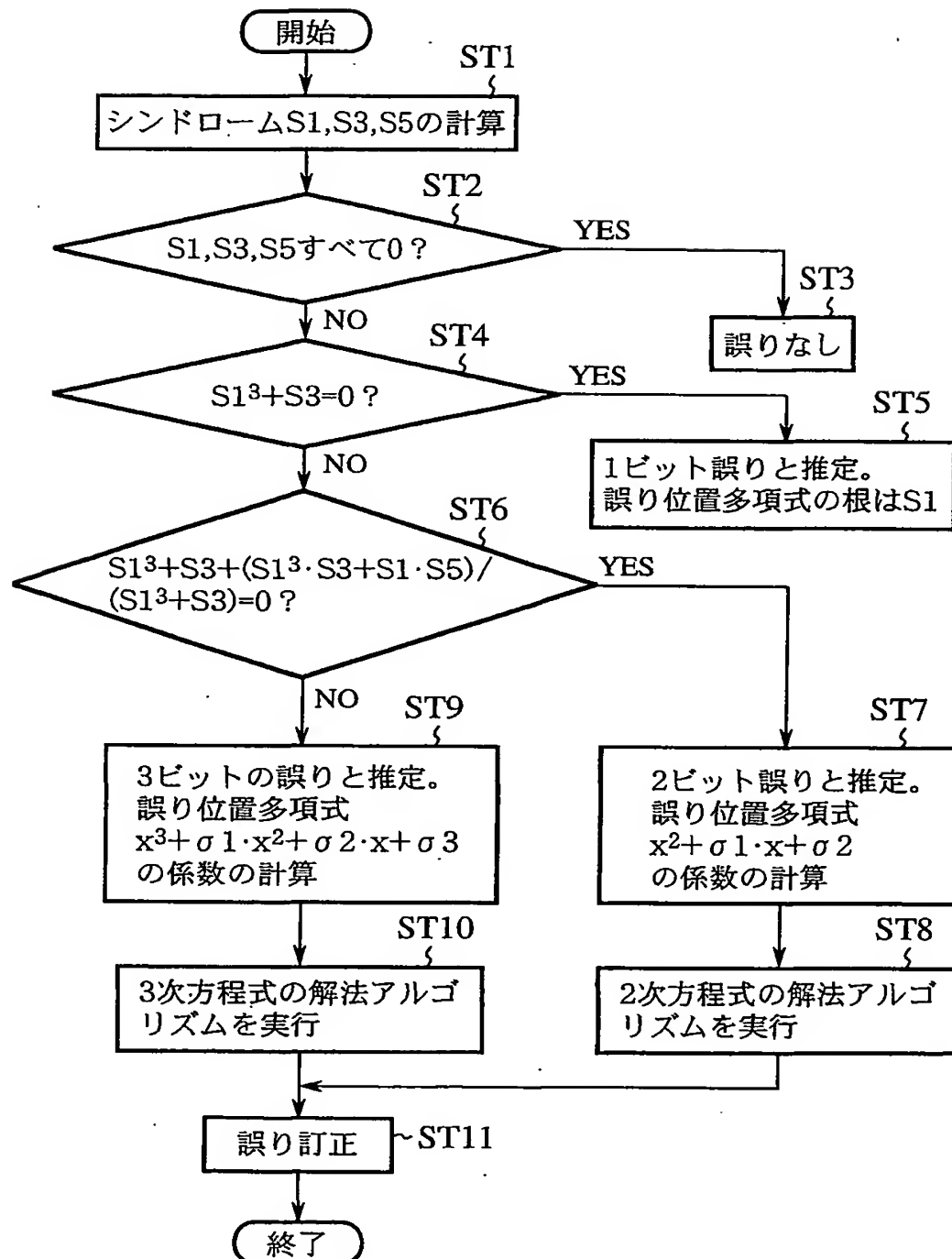
25. 受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定処理と、その誤りビット数に応じて 2 次の誤り位置多項式又は 4 次の誤り位置多項式を生成する多項式生成処理と、その 2 次の誤り位置多項式の根を計算する 2 次方程式解法処理と、その 4 次の誤り位置多項式の根を計算する 4 次方程式解法処理と、その 2 次の誤り位置多項式の根又は 4 次の誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正処理とを備えた誤り訂正プログラムが記録された記録媒体。

26. ガロア体の部分体四則演算を実施して受信語からシンδροームを計算し、そのシンδροームから誤りビット数を推定する誤りビット数推定処理と、その誤りビット数に基づいて誤り位置多項式を生成する多項式生成処理と、その誤り位置多項式の根を計算する多項式解法処理と、その誤り位置多項式の根から誤り位置を特定し、その誤り位置の値を訂正する訂正処理とを備えた誤り訂正プログラムが記録された記録媒体。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

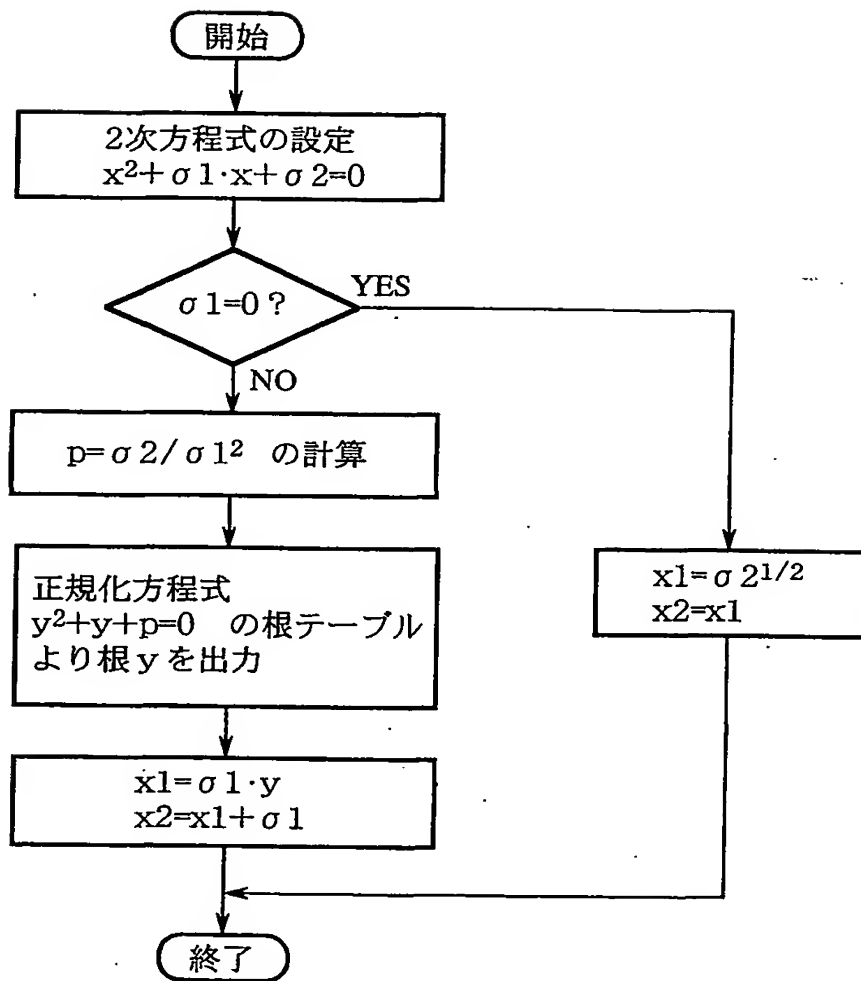


## 第1図



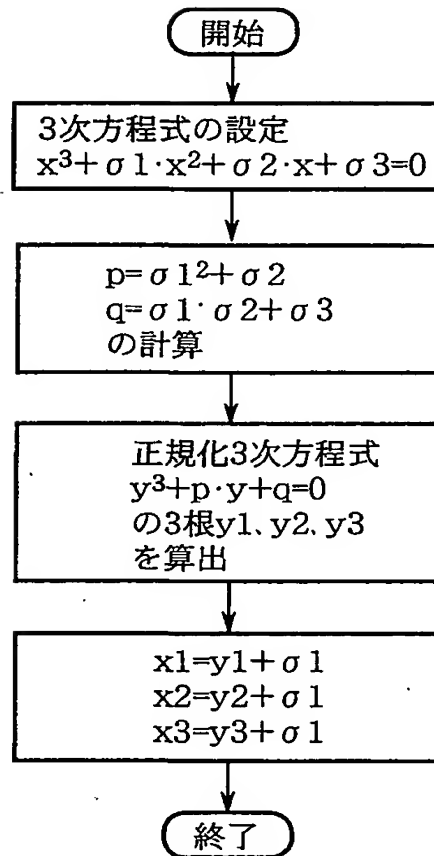
***THIS PAGE BLANK (USPTO)***

## 第2図



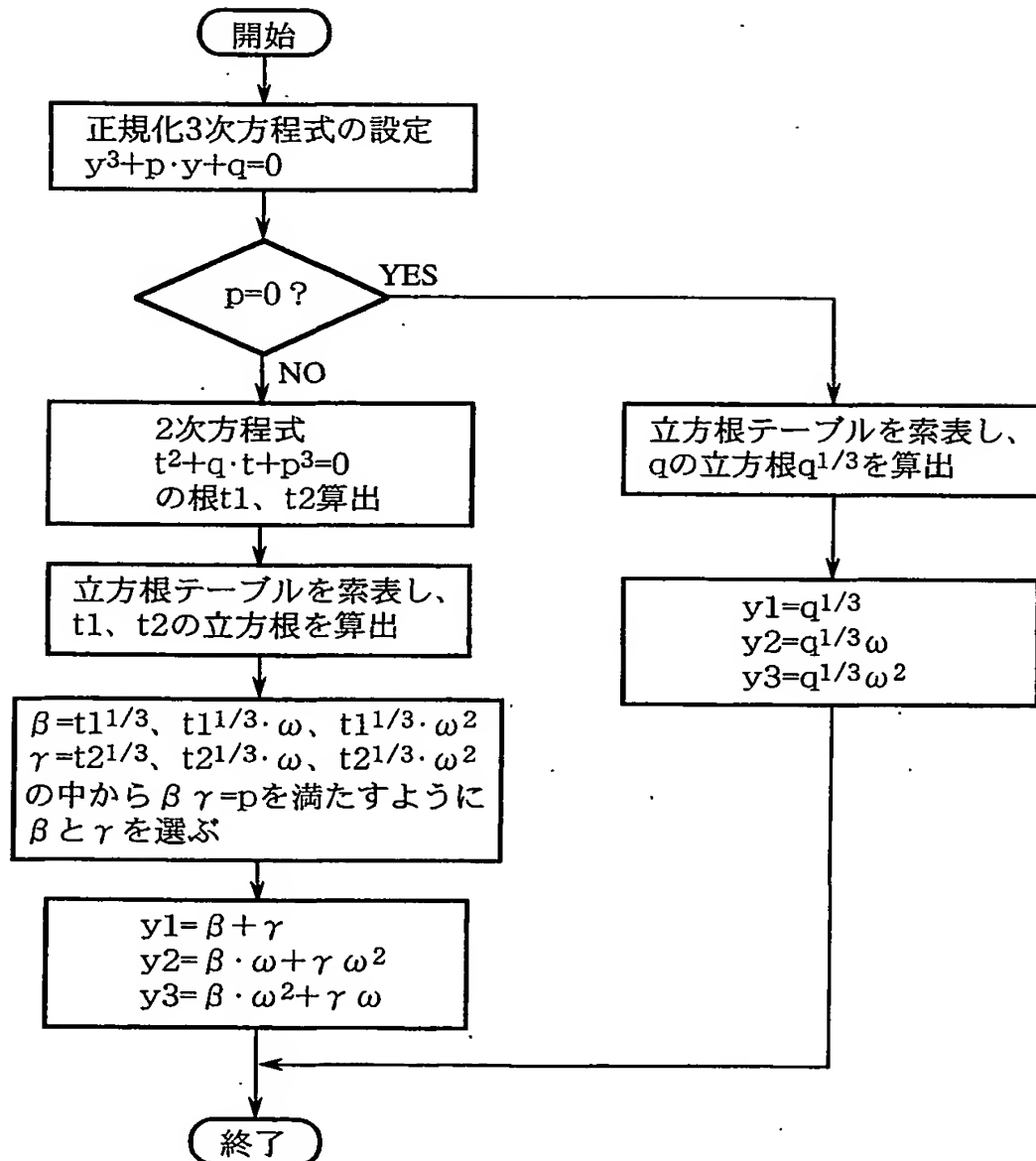
**THIS PAGE BLANK (03710)**

## 第3図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

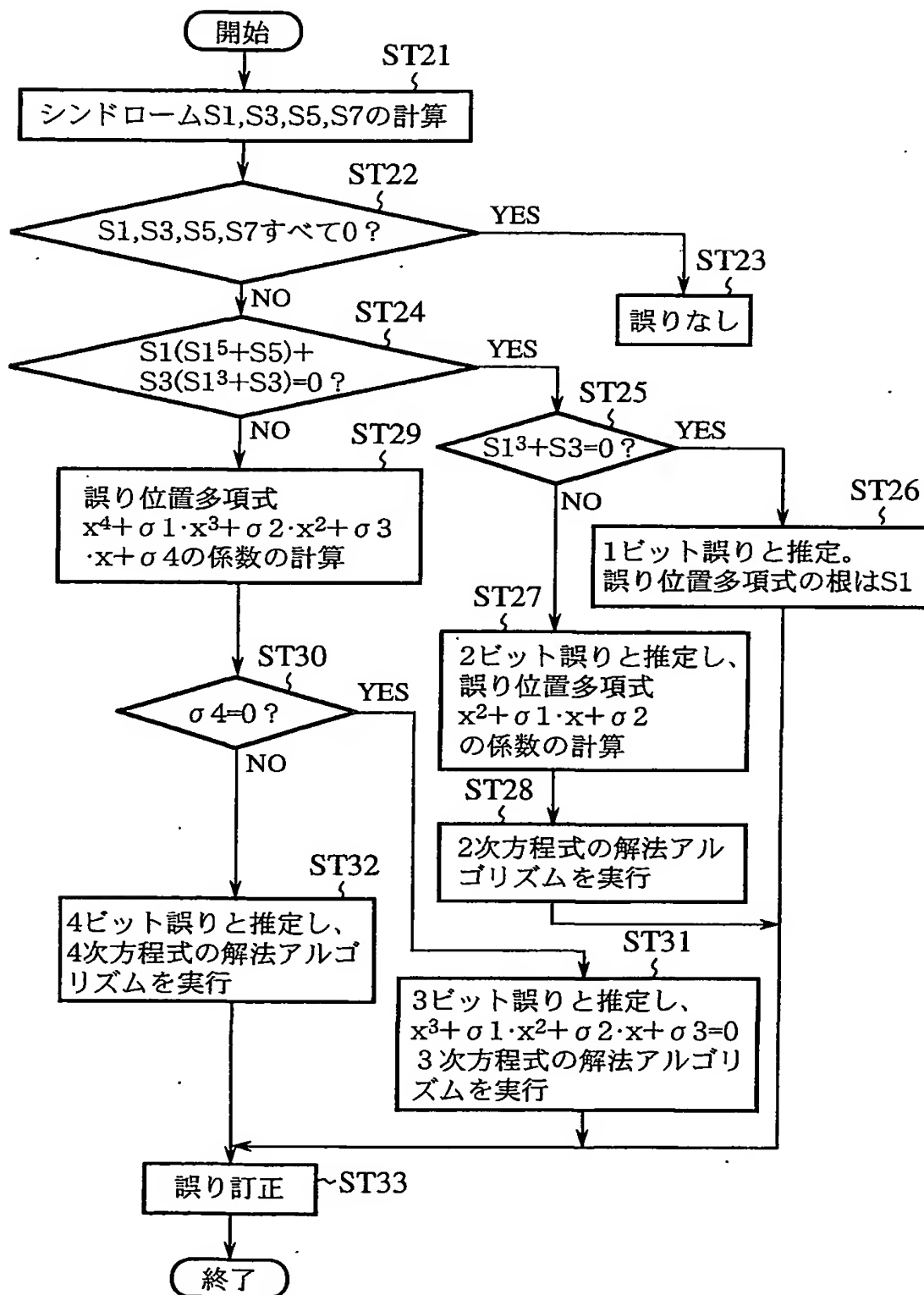
第4図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



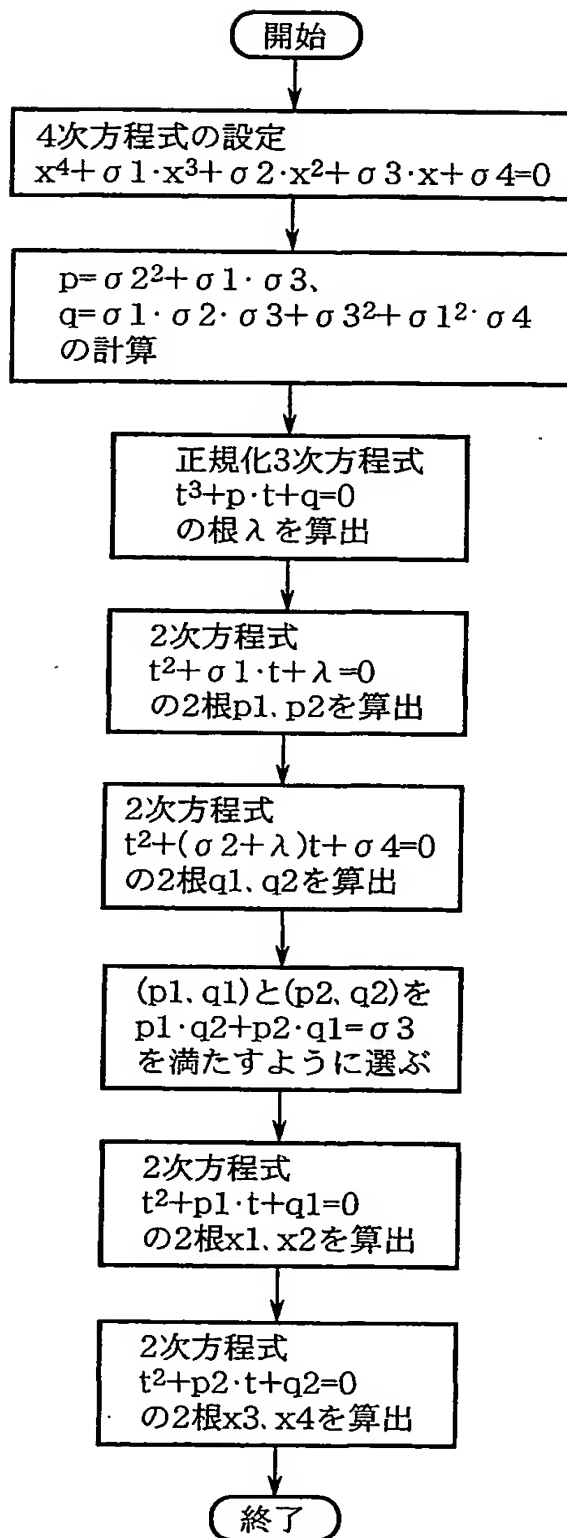
## 第5図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

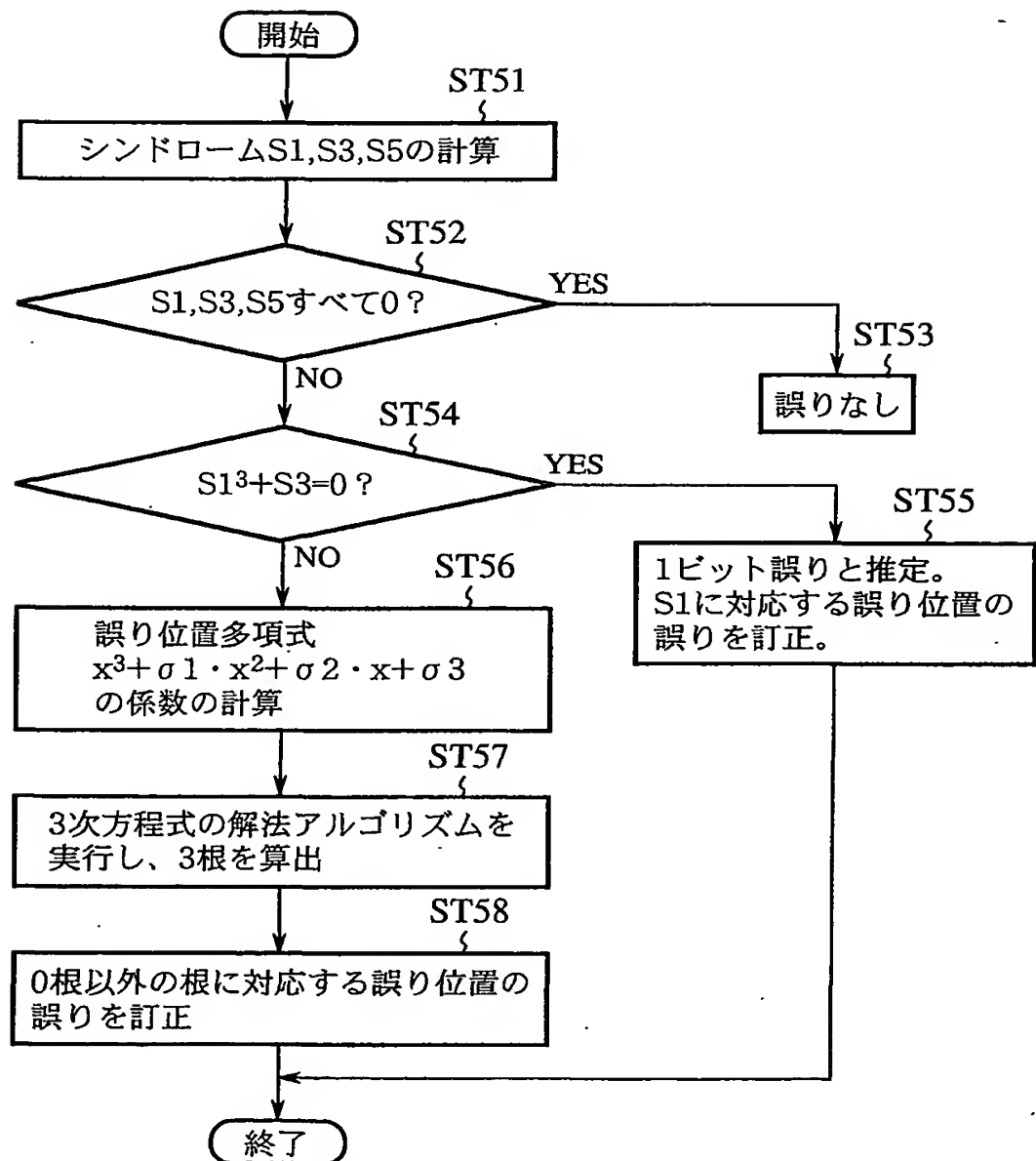
6/28

## 第6図



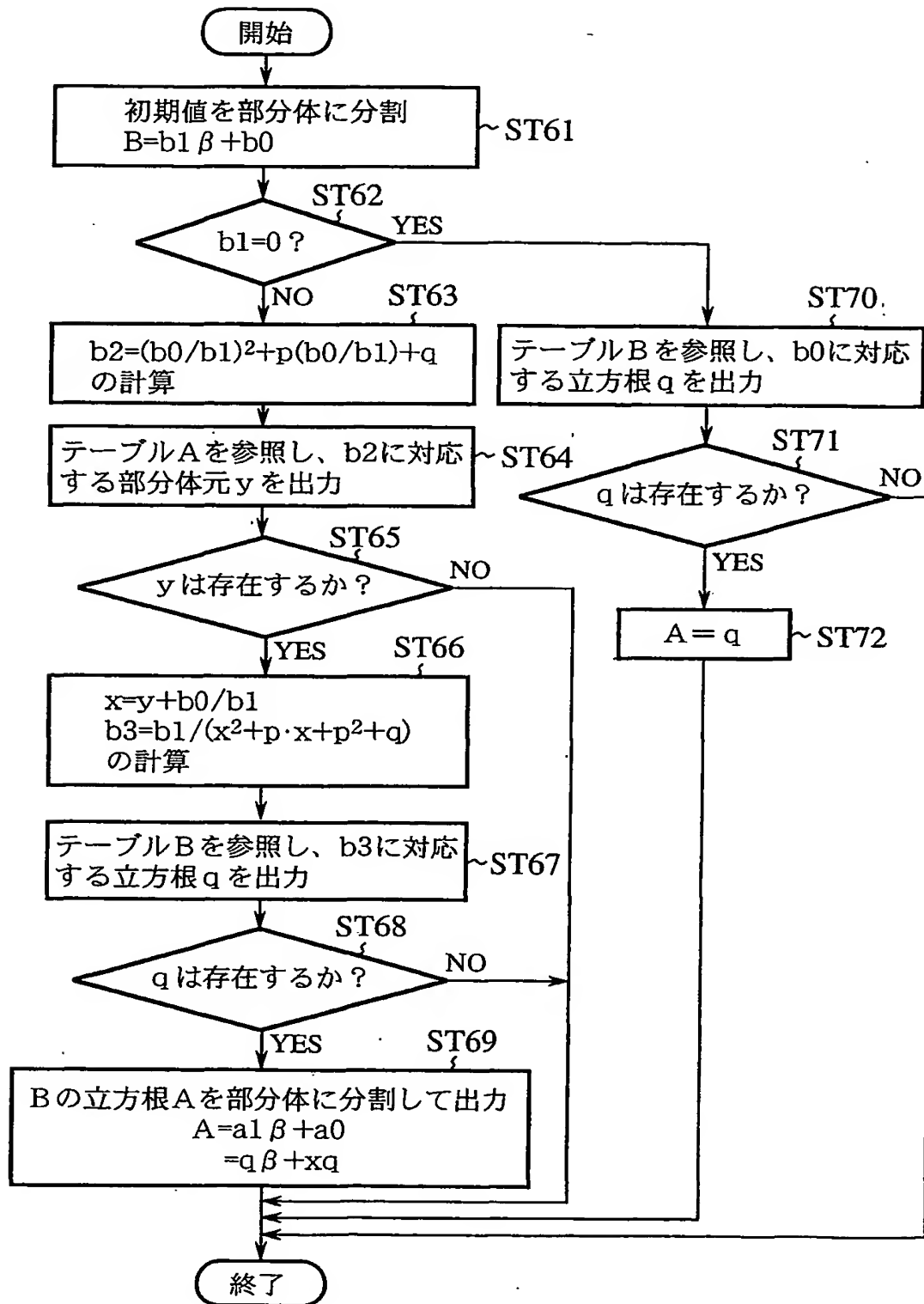
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第7図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

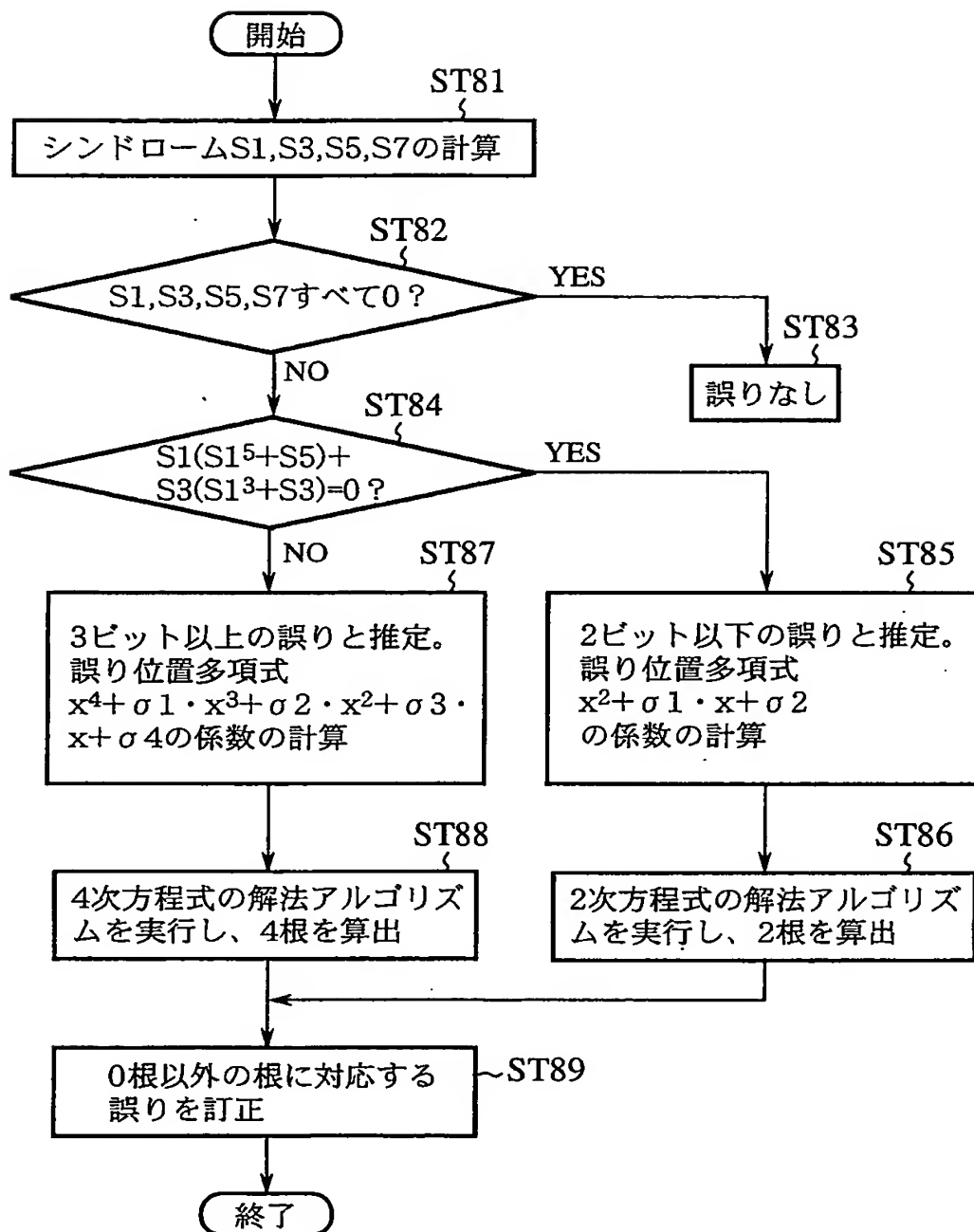
## 第8図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



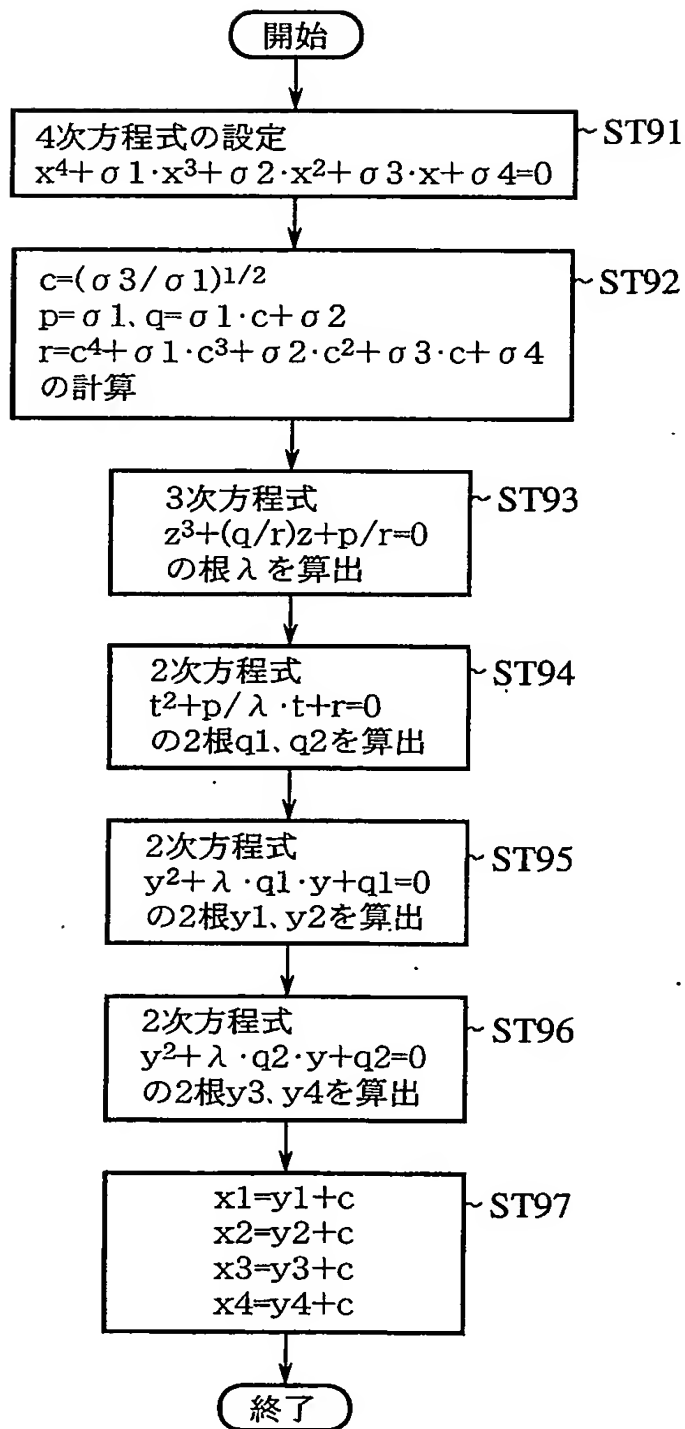
## 第9図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

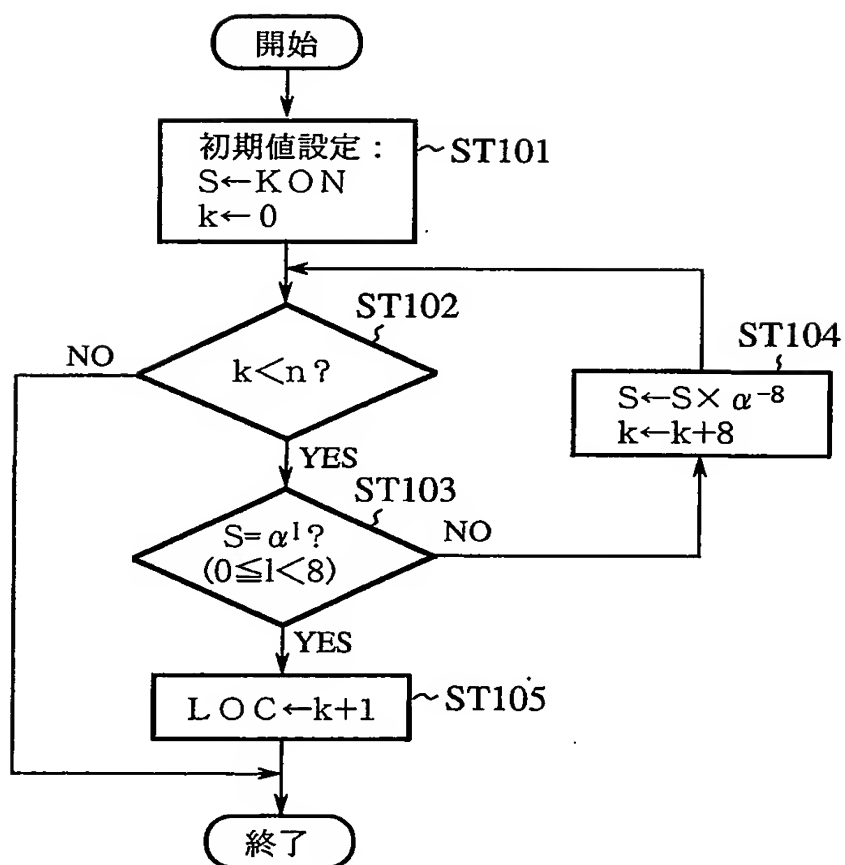
10/28

## 第10図



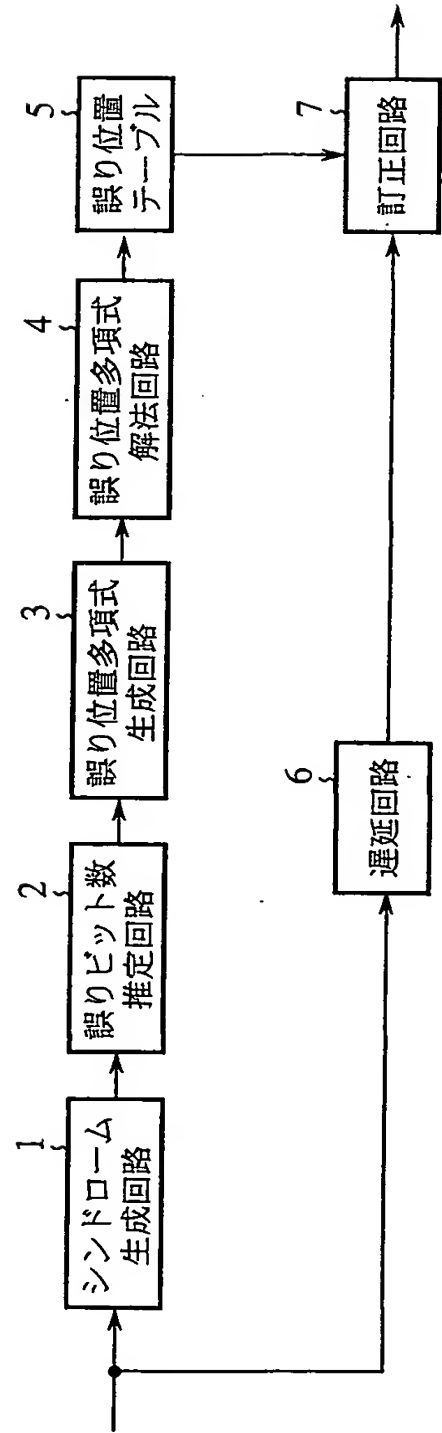
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第11図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

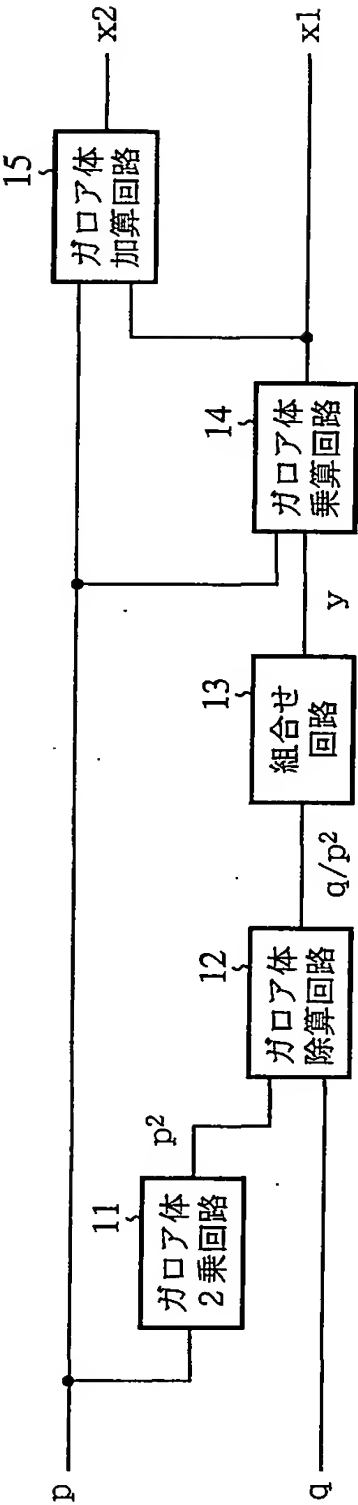
第12図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

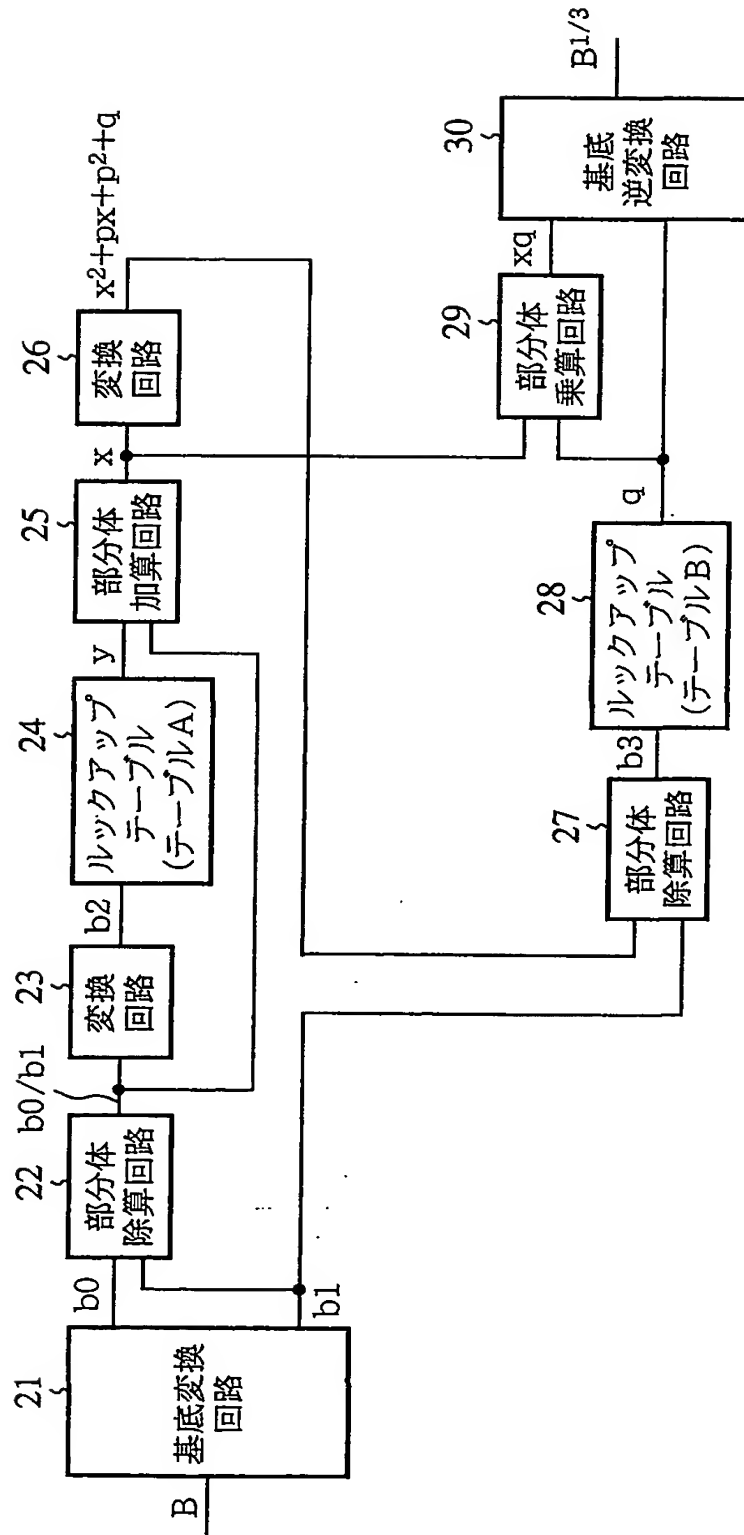


第13図



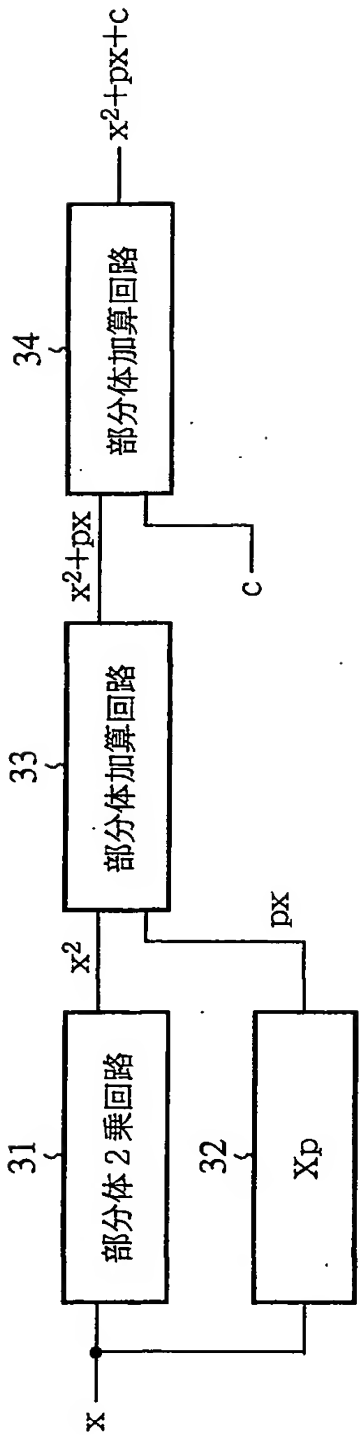
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第14図

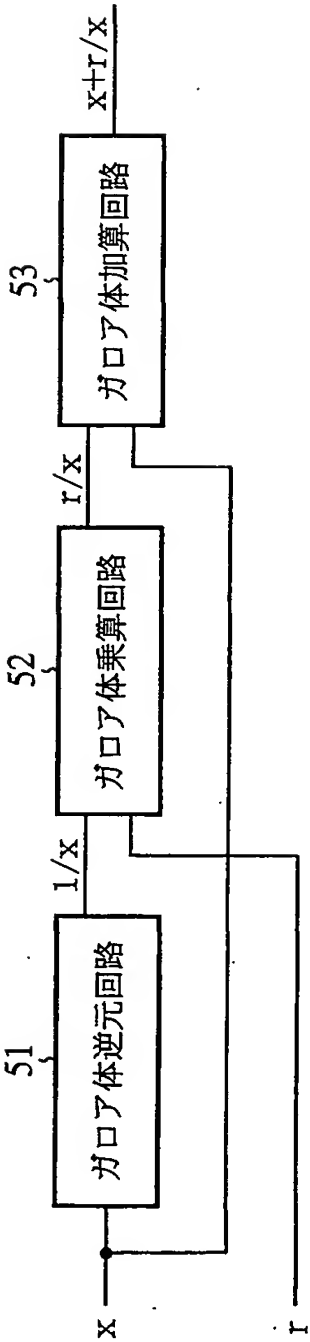


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第15図

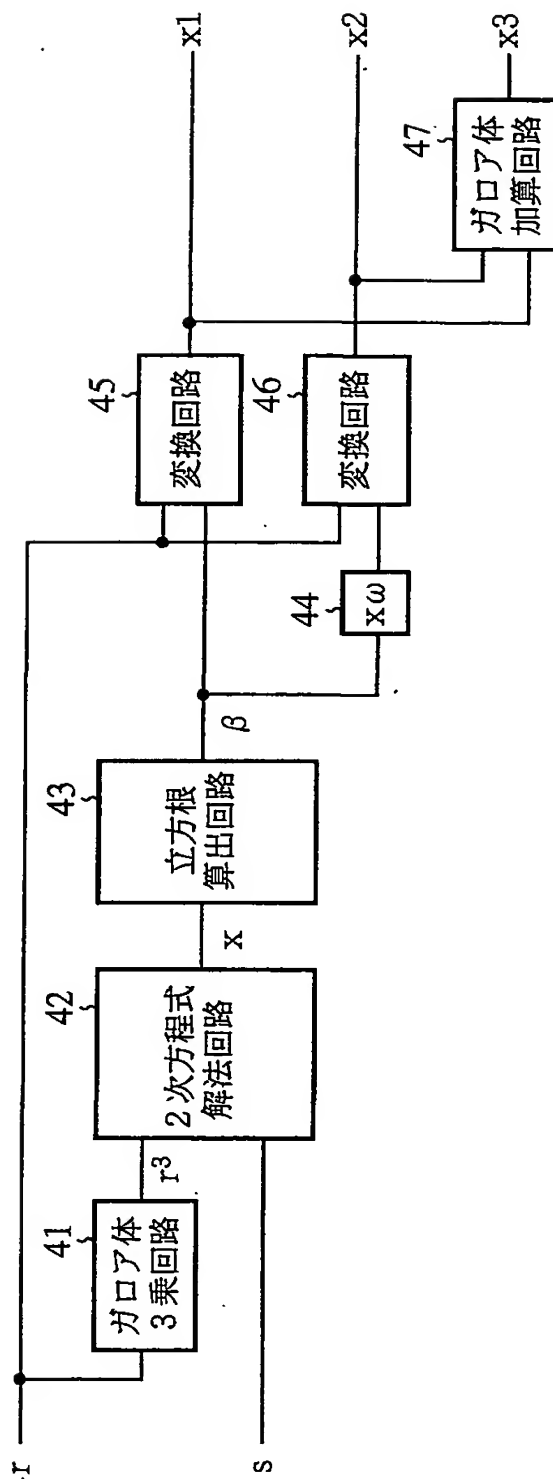


第17図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

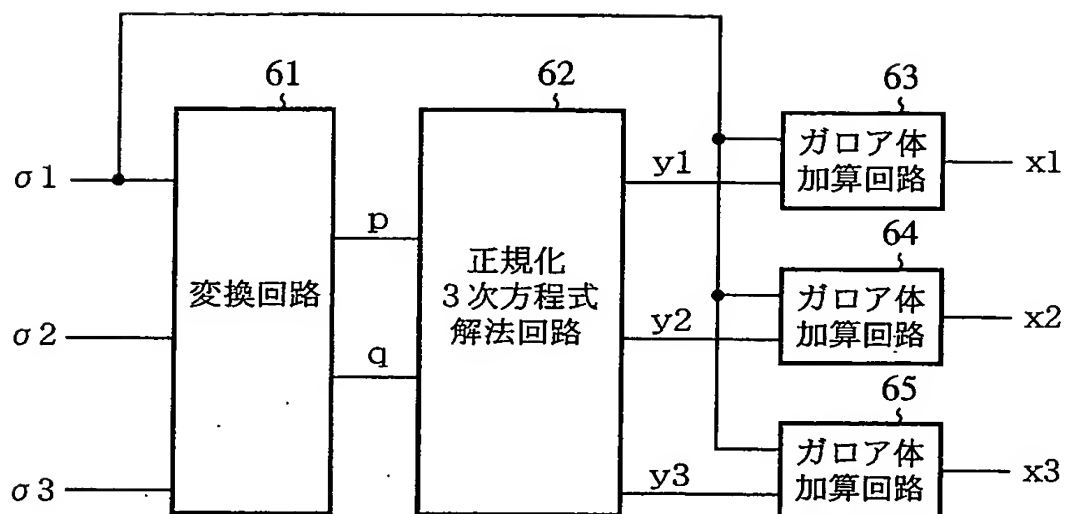
第16図



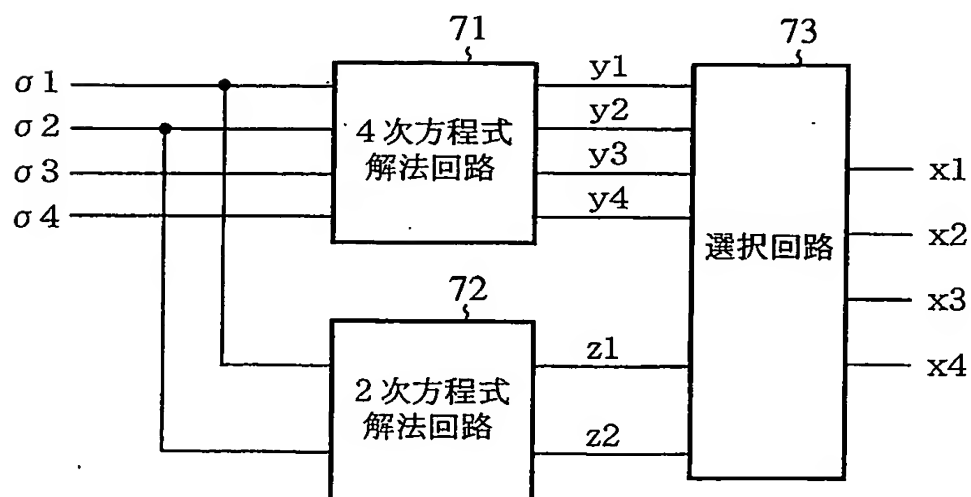
***THIS PAGE BLANK (USPTO)***



第18図

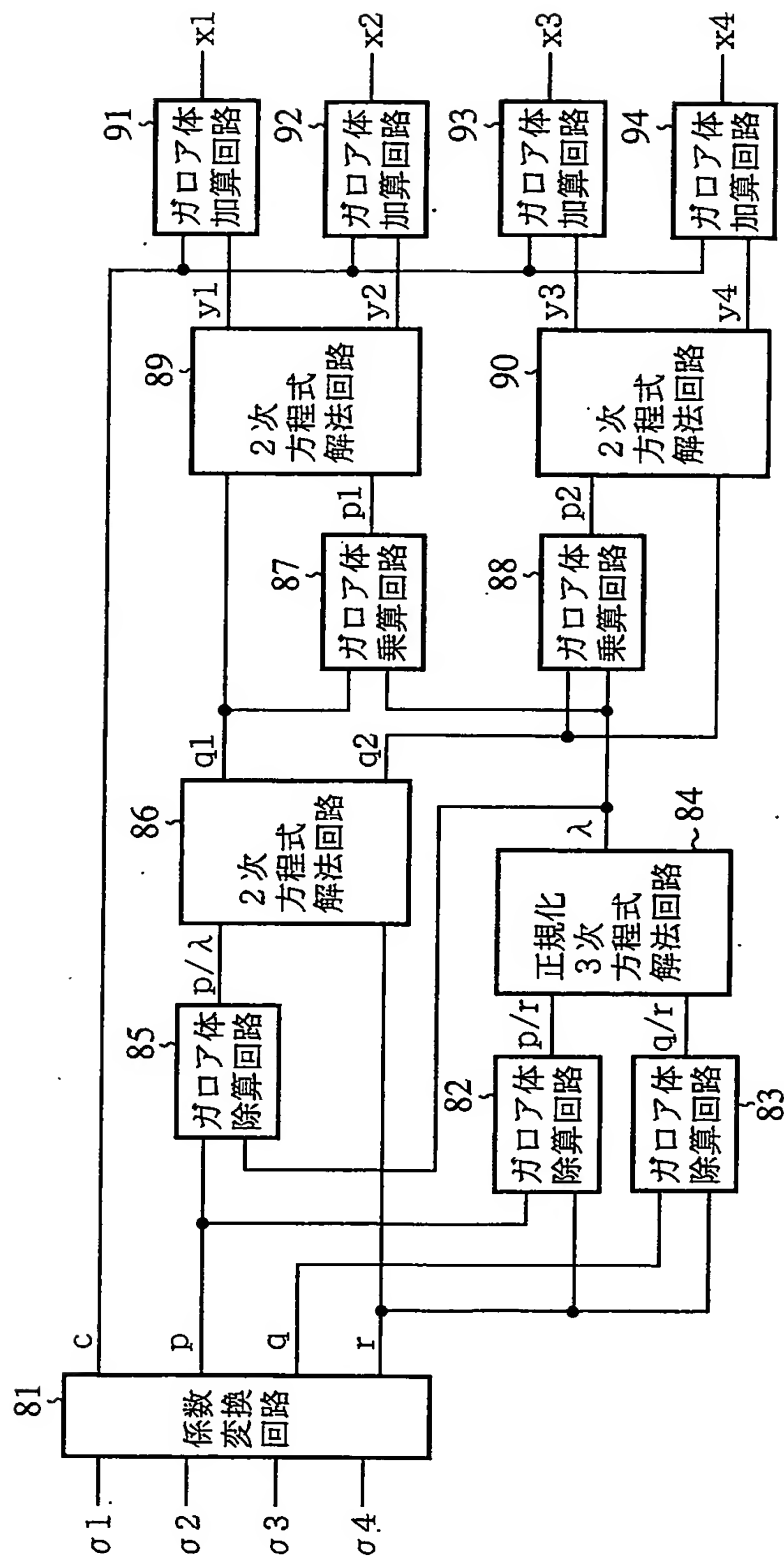


第19図



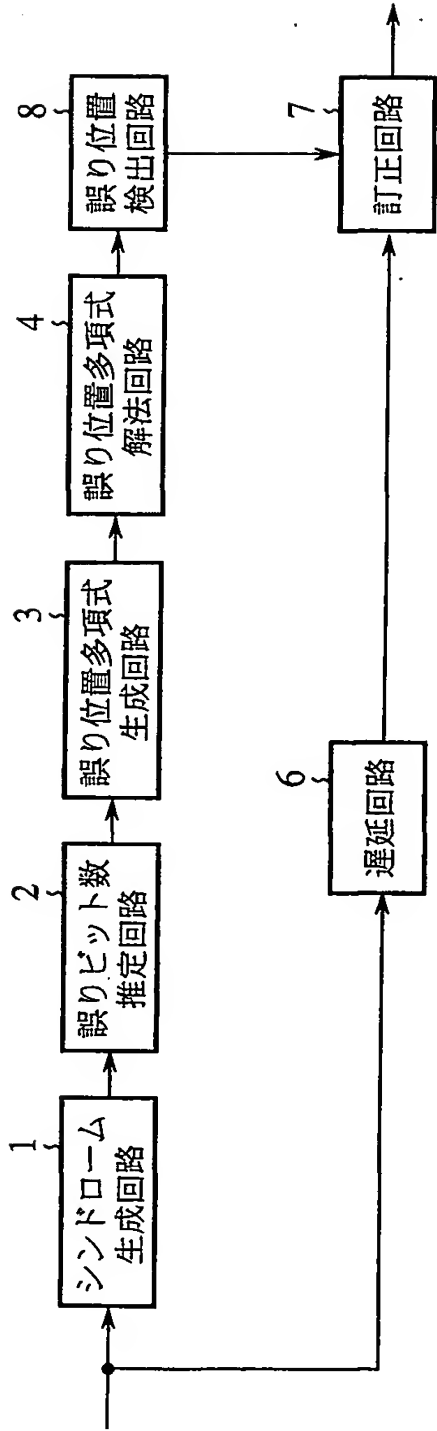
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第20図



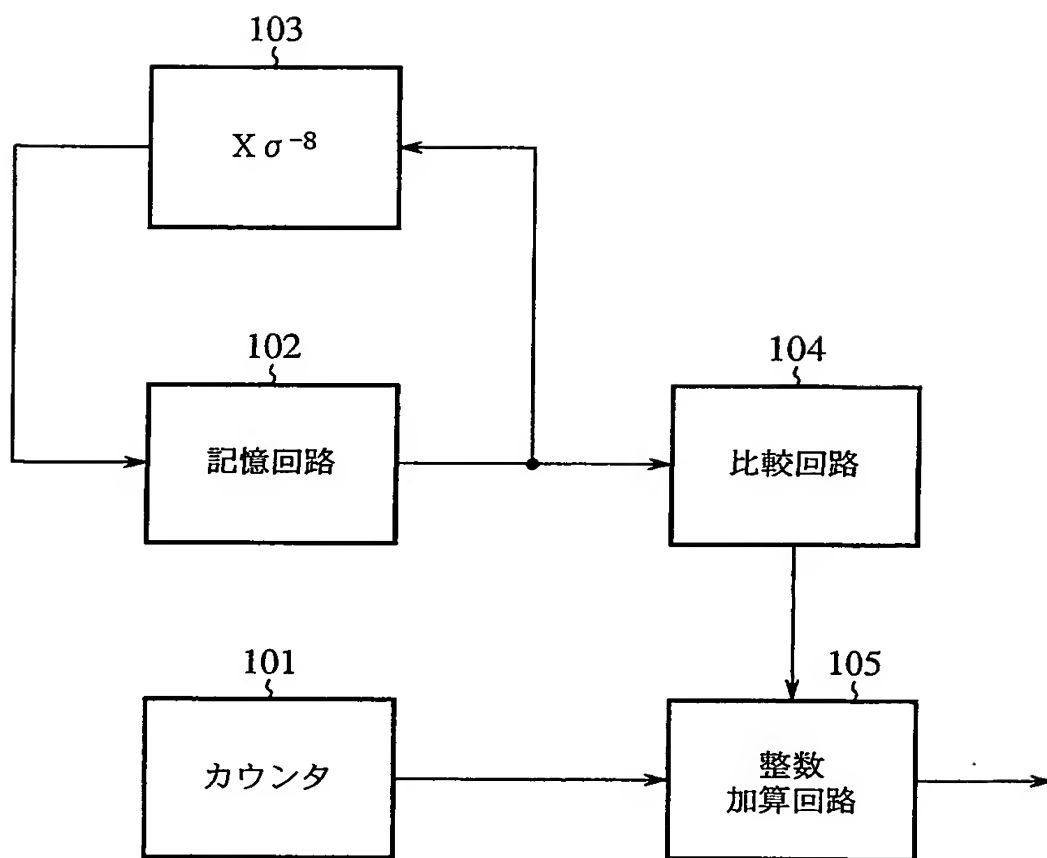
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第21図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

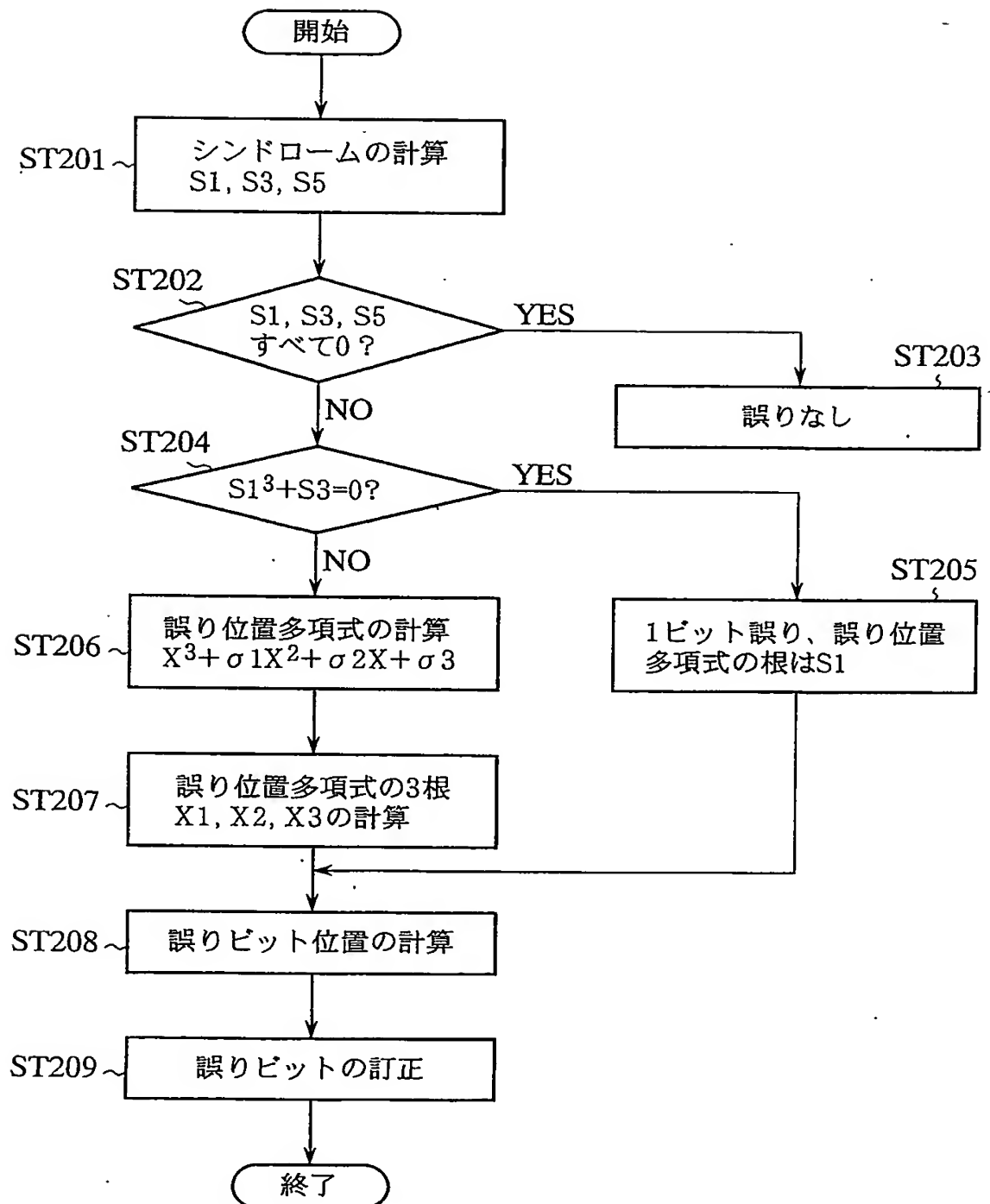
第22図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



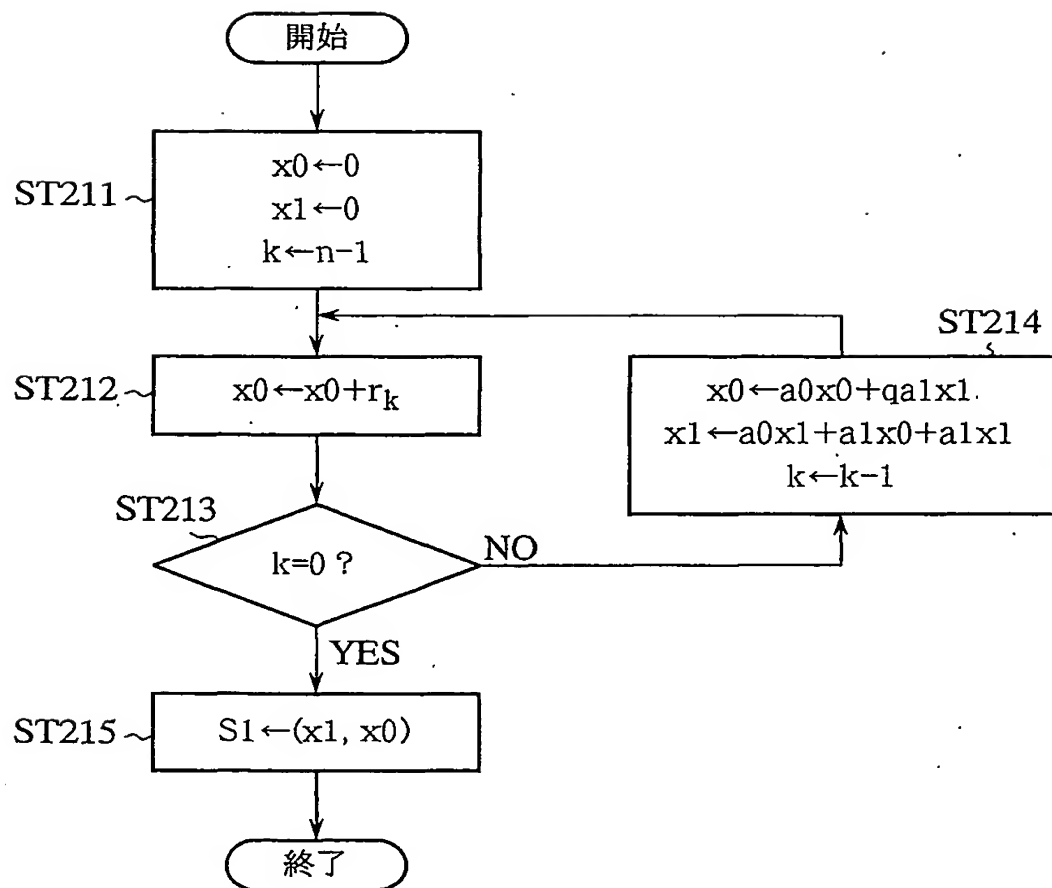
## 第23図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

22/28

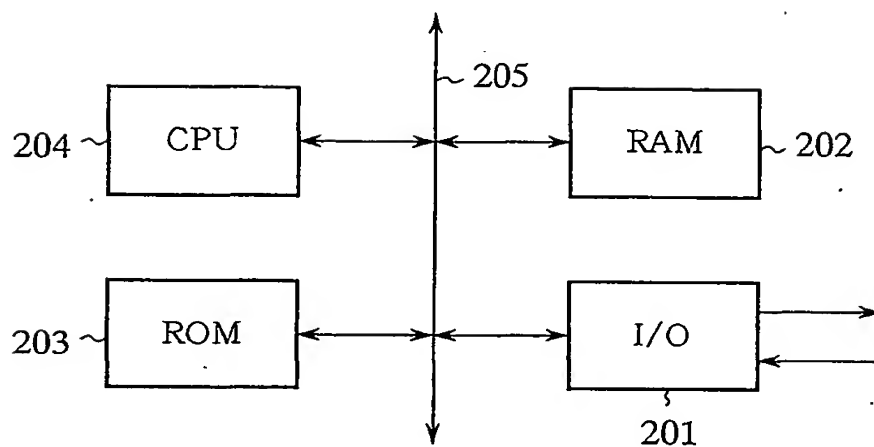
## 第24図



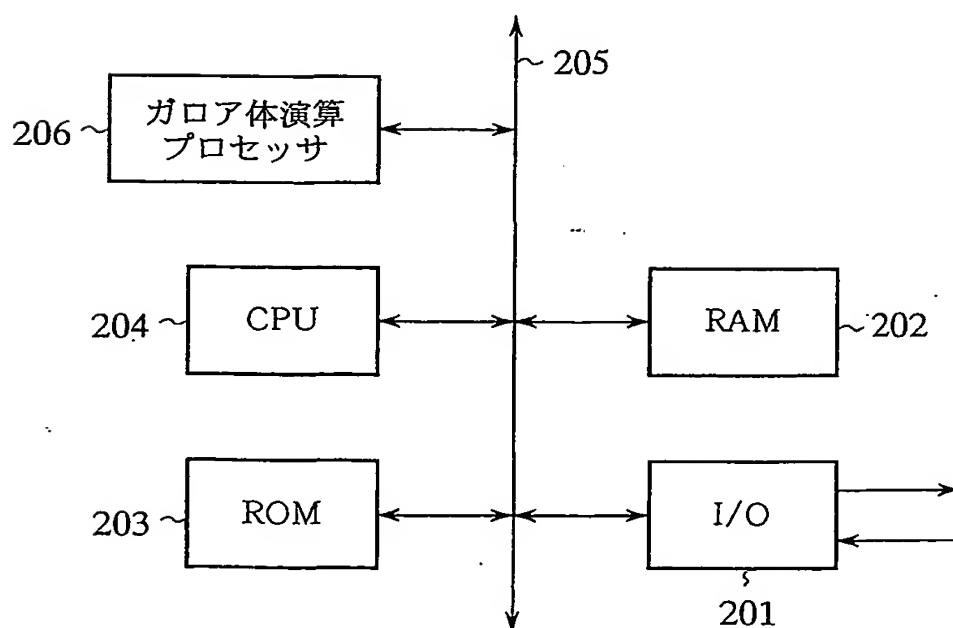
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

23/28

第25図



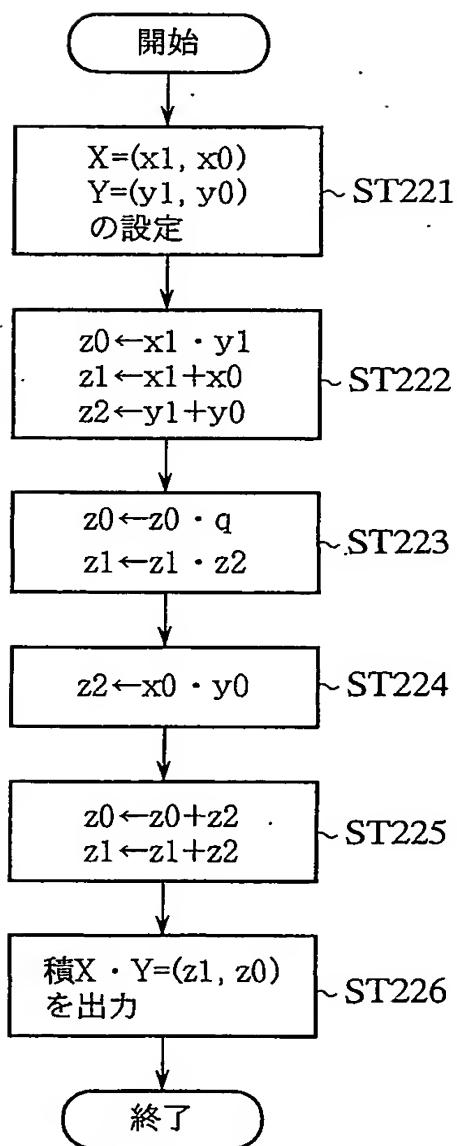
第26図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

24/28

## 第27図

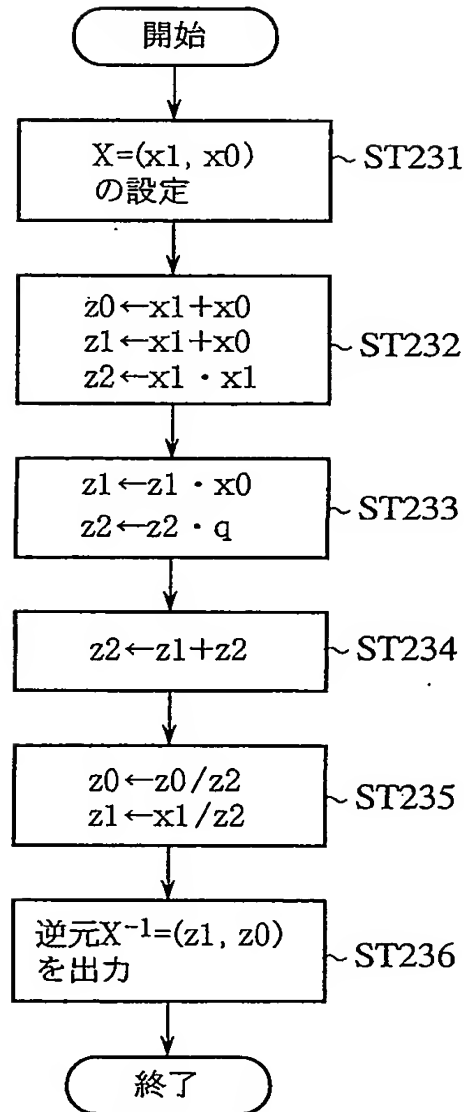


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



25/28

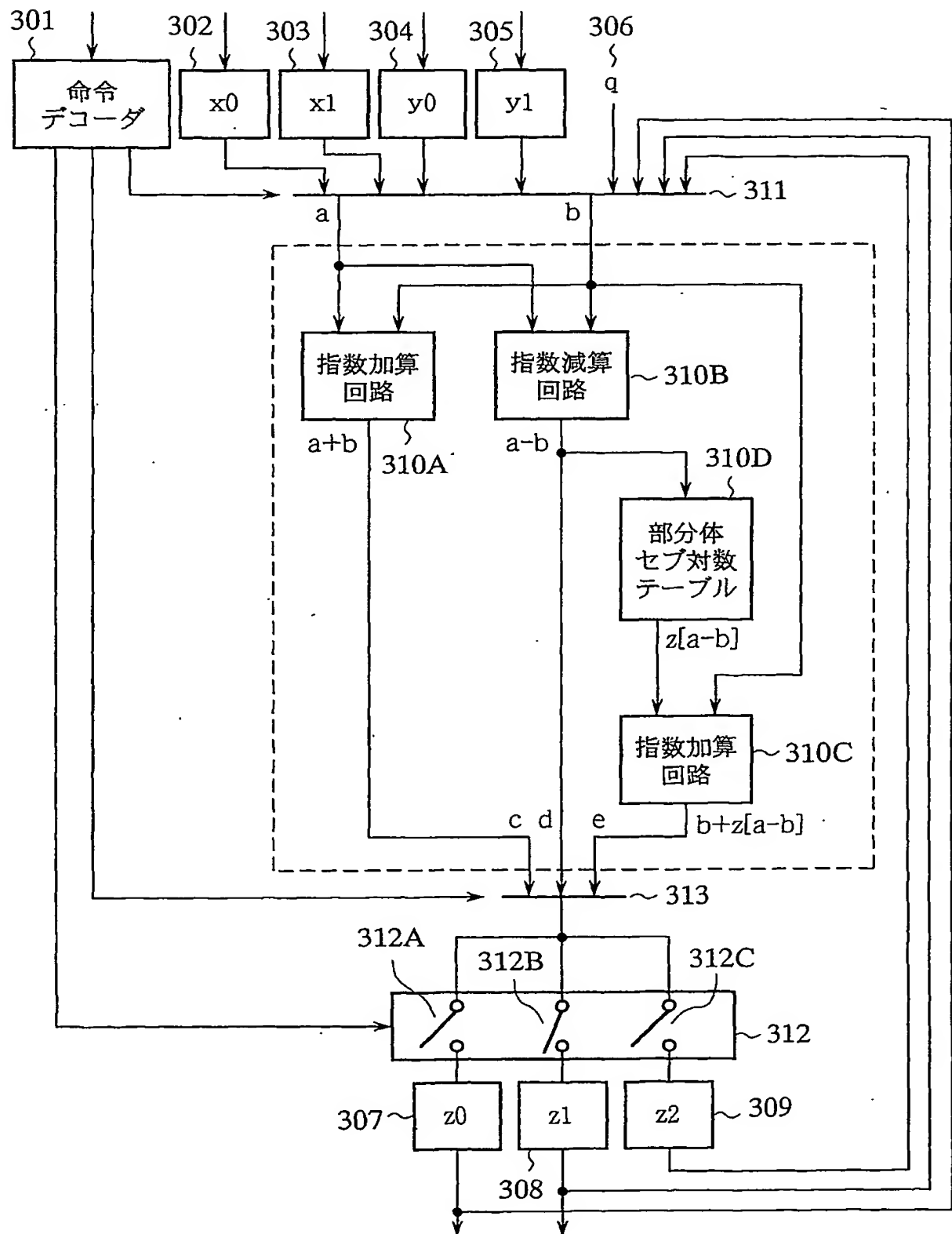
## 第28図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

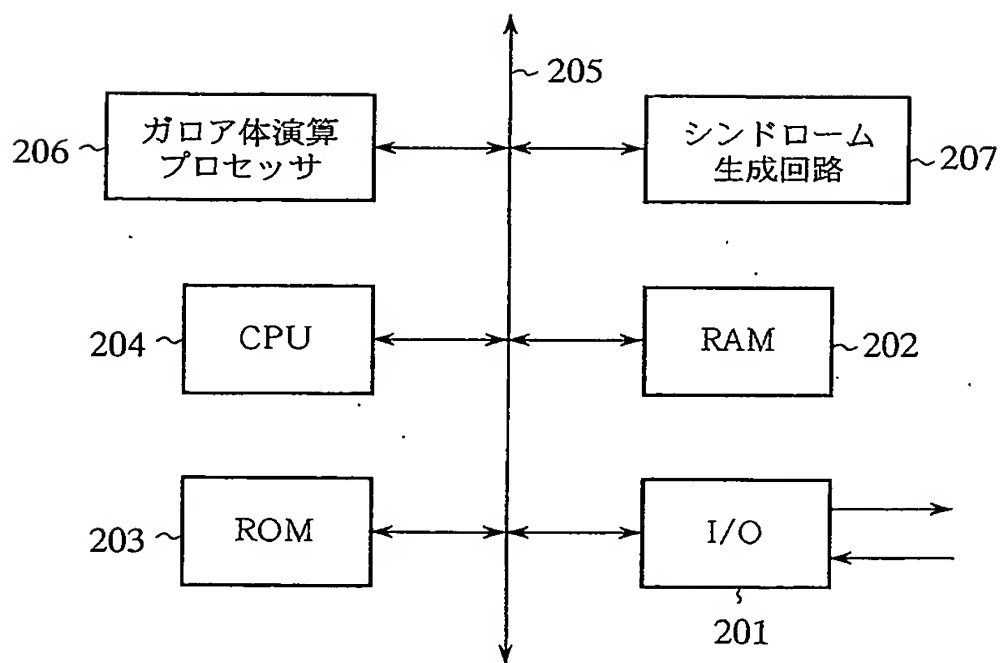
26/28

第29図



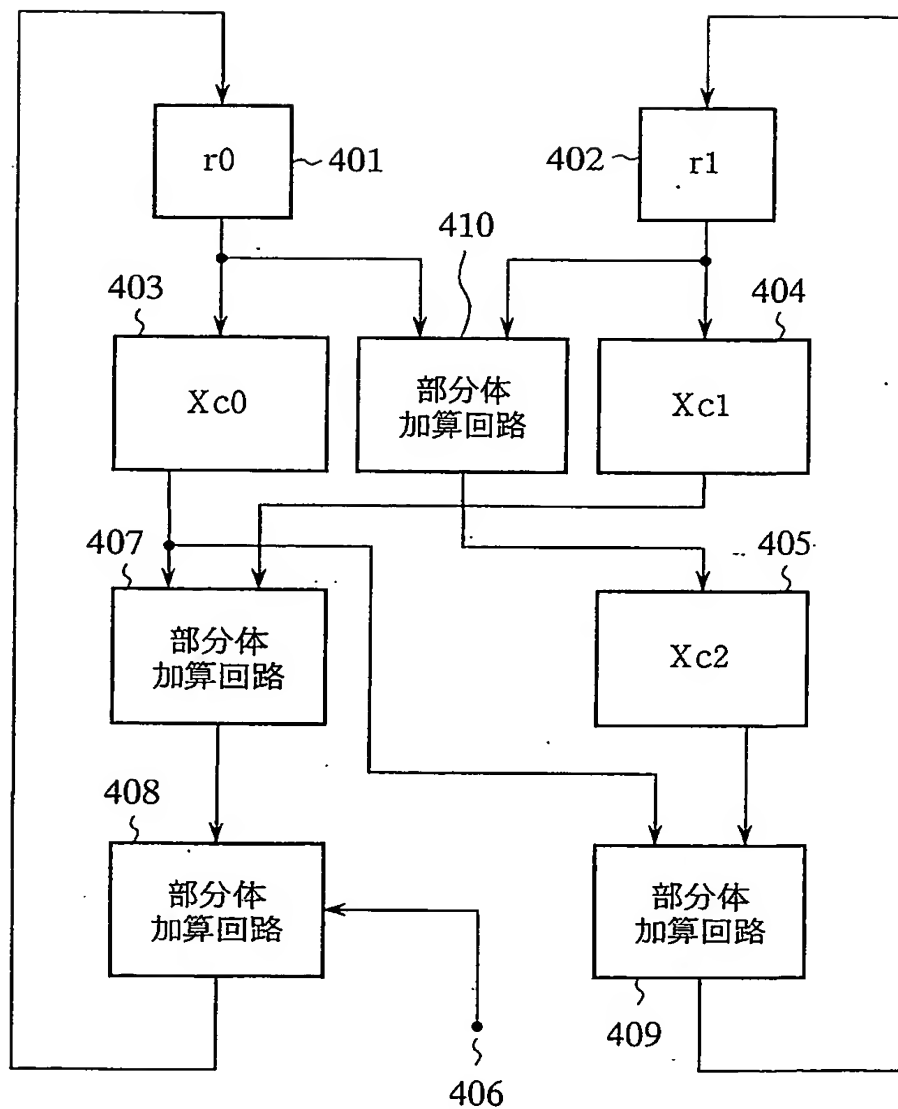
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第30図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第31図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/06922

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>7</sup> H03M 13/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl.<sup>7</sup> H03M 13/00-53Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
IEEE/IEE Electronic Library online

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 59-165153 A (Hiroichi OKANO), 18 September, 1984 (18.09.84), Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	4-6, 16-18, 19-24, 26
A	Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1-3, 7-11, 12-15, 25
A	JP 58-219647 A (Tokyo Shibaura Denki K.K.), 21 December, 1983 (21.12.83), Full text; Figs. 1 to 10 (Family: none)	1-26

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
25 December, 2000 (25.12.00)Date of mailing of the international search report  
16 January, 2001 (16.01.01)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl<sup>7</sup> H03M 13/01

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl<sup>7</sup> H03M 13/00-53

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996
日本国公開実用新案公報	1971-2000
日本国登録実用新案公報	1994-2000
日本国実用新案登録公報	1996-2000

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEEE/IEE Electronic Library online

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P, 59-165153, A (岡野博一) 18. 9月. 1984 (18. 09. 84) 全文, 1-6図 (ファミリーなし)	4-6, 16-18, 19-24, 26
A	全文, 1-6図 (ファミリーなし)	1-3, 7-11, 12-15, 25
A	J P, 58-219647, A (東京芝浦電気株式会社) 21. 12月. 1983 (21. 12. 83) 全文, 1-10図 (ファミリーなし)	1-26

☐ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 12. 00

国際調査報告の発送日

16.01.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

西脇 博志



5K

8832

電話番号 03-3581-1101 内線 6868

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**